



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO
GRANITÓIDE SERRA DA ÁGUA LIMPA, MUNICÍPIO CAMPOS DO JORDÃO, SP.**

FREDERICO ZAVAM

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO REQUISITO OBRIGATÓRIO
DA DISCIPLINA “TRABALHO FINAL DE CURSO”

RIO DE JANEIRO
ABRIL DE 2012

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO GRANITOÍDE SERRA
DA ÁGUA LIMPA, MUNICÍPIO DE CAMPOS DO JORDÃO, SP.**

FREDERICO ZAVAM

Trabalho de conclusão do curso de graduação
em Geologia, Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ,
como requisito obrigatório para obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Área de atuação: Setor I

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes e Me.
Patrícia A. Duffles Teixeira.

Aprovado por:

Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Prof^a. Dr^a. Silvia Regina de Medeiros

Prof. Ms. Rodrigo Vinagre Cintra da Costa

RIO DE JANEIRO
ABRIL DE 2012

ZAVAM, Frederico

Caracterização Geológica, Petrográfica e Geoquímica do
Granitóide Serra da Água Limpa, Município Campos Jordão, SP.

XXX, 48 p. 29,7 cm (Instituto de Geociências - UFRJ, B. Sc.,
Curso de graduação em Geologia, 2012).

Monografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no
Instituto de Geociências.

1.Embu 2. Granitóide 3. Serra da Água Limpa 4. Ribeira

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Djalma e Imaculada, meus irmãos, Guilherme e Henrique e todos da família que me apoiaram e incentivaram desde sempre.

Ao professor Julio Mendes pela orientação durante este trabalho e a geóloga Mestre Patrícia Duffles, parceira na etapa de campo e que cedeu parte dos dados de sua tese de doutorado para este trabalho.

Aos amigos que conheci, em especial os do Diretório Acadêmico Joel Valença, vocês me ensinaram e ajudaram muito durante toda a graduação.

Aos professores, por todos os ensinamentos passados e ao técnico Tarcísio pelo trabalho de laminação.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo da geologia, petrografia e geoquímica do corpo Serra da Água Limpa (GSAL) (Trouw et al, 2007)), que ocorre na região da Serra da Mantiqueira na divisa do Estado de São Paulo e Minas Gerais.

A área estudada está situada na Província Mantiqueira, também denominada Sistema Orogênico Mantiqueira mais precisamente no extremo sul da Faixa Brasília, no domínio da Zona de Interferência, segundo Trouw *et al* (2000), Heilbron (2004), Campos Neto *et al* (2004) e Peternel *et al* (2005).

Nas imediações do corpo Serra da Água Limpa, foi identificada como encaixante, uma sequência metassedimentar do Complexo Embu (Hasui,1981), biotita-sillimanita gnaiss e biotita gnaiss. E ocorrem rochas da Bacia Pico do Itapeva, que tem o GSAL como embasamento.

O GSAL aflora em uma área de aproximadamente 80 Km² e corresponde a um corpo de forma alongada, orientada em ENE-WSW. Sua composição é monzogranítica a granodiorítica, com textura inequigranular porfírica, e fenocristais de feldspatos (K-feldspato predomina em relação ao plagioclásio), apresentando uma matriz de granulometria média a grossa composta predominantemente por quartzo, feldspatos, quartzo e hornblenda.

A mineralogia essencial é microclina, plagioclásio, quartzo e biotita. Como minerais acessórios ocorrem opacos, titanita, hornblenda, zircão, apatita e allanita e como secundários sericita, epidoto e clorita. O magmatismo é classificado como cálcio-alcálico de alto potássio, e de caráter peraluminoso.

Os dados geocronológicos, obtidos na literatura indicam idades de cristalização entre 630 - 670 Ma e de metamorfismo em 616 ± 4 milhões de anos (Peternel,2005; Vinagre, 2010).

SUMÁRIO
ÍNDICE DE FIGURAS
ÍNDICE DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	04
4. METODOLOGIA	07
4.1 Procedimento de campo	07
4.2 Amostragem	08
4.3 Etapa de Laboratório	08
4.4 Etapa de Escritório	10
5. NOMENCLATURAS ADOTADAS PARA OS LITÓTIPOS	11
6. GEOLOGIA REGIONAL	12
6.1 Contexto Geológico Regional	12
6.1.1. Faixa Brasília Sul	13
6.1.2. Zona de Interferência	15
6.1.3. Complexo Embu	15
6.1.4. Bacias do tipo <i>pull-apart</i> Neoproterozóicas	16
6.1.5. Magmatismo 660 – 640 Ma na Porção Central da Faixa Ribeira	16
- 6.2 Dados Geocronológicos	17
6.3 Metamorfismo	18
6.4 Estrutural	19
7. GEOLOGIA DA ÁREA MAPEADA	20
7.1 Formação Pico do Itapeva	20
7.2. Sequência Metassedimentar Embu	21
7.3 Granitóide Serra da Água Limpa	24
7.2.1 Aspecto de Campo	24
7.2.2 Petrografia	27
8. GEOQUÍMICA GRANITÓIDE SERRA DA ÁGUA LIMPA	35
9. CONCLUSÕES	49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
ANEXO A – MAPA GEOLÓGICO DE PONTOS
ANEXO B – MAPA GEOLÓGICO DE MEDIDAS

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Mapa tectônico da Região Sudeste do Brasil (Trouw <i>et al.</i> 2000).	2
Figura 2: Localização aproximada da folha Delfim Moreira 1:50.000.	4
Figura 3: Articulação da folha Delfim Moreira 1:50.000	5
Figura 4: Acesso a parte Nordeste da área.	5
Figura 5: Acesso a parte Sudoeste da área.	6
Figura 6: Mapa tectônico simplificado da América do Sul com destaque para a Província Mantiqueira (Heilbron <i>et al.</i> 2004).	12
Figura 7: Mapa paleogeográfico que ilustra o arcabouço estrutural no Gondwana ocidental durante o Neoproterozóico (Heilbron <i>et al.</i> , 2004).	13
Figura 8: Mapa tectônico regional com a localização aproximada da área de estudo marcada pela quadrícula vermelha.	14
Figura 9: a) idade todos os grãos b) idade concórdia de metamorfismo. Vinagre (2010).	17
Figura 10: Mapa metamórfico simplificado da Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Ribeira (Peternel, 2005).	19
Figura 11: Biotita-gnaiss migmatítico com dobras fechadas.	22
Figura 12: Aspecto microscópico Biotita sillimanita xisto.	23
Figura 13: Biotita - Sillimanita xisto.	23
Figura 14: GSAL em afloramento com textura inequigranular porfirítica.	25
Figura 15: Aspecto geral do granitóide Serra do Água Limpa.	25
Figura 16: Lente quartzo feldspática dobrada, com plano axial paralelo à foliação regional.	26
Figura 17: GSAL com textura milonítica.	26
Figura 18: Contato entre a microclina e o plagioclásio formando mirmequita.	28
Figura 19: Contato entre a microclina e o plagioclásio em bainhas.	28

Figura 20: Microclínio a esquerda marcado em vermelho com aspecto poiquilítico e coroas de titanitas bordejando opacos.....	29
Figura 21: Plagioclásio fortemente sericitizado, com inclusão de zircão.	30
Figura 22: Fitas de quartzo recristalizado em meio a plagioclásio muito sericitizado.	31
Figura 23: Allanita com bordas de crescimento.	32
Figura 24: Epidoto alterando para plagioclásio.....	33
Figura 25: Diagrama QAP para as amostras do granitóide SAL.....	34
Figura 26: Diagrama TAS (Cox et al. 1979).....	38
Figura 27: Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971).....	39
Figura 28: Diagrama SiO ₂ x K ₂ O (Peccerillo & Taylor, 1976).....	40
Figura 29: Diagrama ACNK - Al ₂ O ₃ /(N ₂ O+CaO+ K ₂ O), Índice de Shand.	41
Figura 30: Diagrama Q x P Debon & Le Fort.....	42
Figura 31: Diagramas discriminantes para rochas graníticas, de Pearce et al (1984).	43
Figura 32: Diagrama de Harker para óxidos.	45
Figura 33: Diagrama de Harker para elementos traços.	46
Figura 34: Diagrama multi-elementar normalizado com NMORB.....	48
Figura 35: Diagrama elementos terras raras normalizados com o condrito.	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Resultado (em %) da contagem modal (800 pontos) de lâminas do GSAL	34
Tabela 2: Análises químicas de elementos maiores, menores (% em peso) e traços (em ppm) e parâmetros geoquímicos.....	36
Tabela 3: Análises químicas de elementos terras raras (em ppm).....	37

1 – INTRODUÇÃO

Nas folhas topográficas do sul de Minas Gerais a presença de corpos de ortognaisses alongados segundo a direção SW-NE, apresentando foliação e bandas miloníticas paralelas à estruturação principal da Faixa Ribeira são descritas por diferentes autores (Figura 1). Estes corpos de idade neoproterozóica, dentre outros, estão representados pelos Granito Rio Turvo, Granito Funil (Pereira *et al.*, 2001a). Normalmente apresentam uma variedade composicional desde granada biotita granodiorito até leucogranitos. São subalcalinas e alinham-se em *trend* evolutivo cálcio-alcalino.

Predominam granitóides do tipo S, de caráter peraluminoso, e tipo I, metaluminosos, originados de retrabalhamento crustal de sucessões metassedimentares e de rochas ortoderivadas, respectivamente (Heilbron *et al*, 2000).

Dentre os diversos corpos de origem ígnea identificados, destaca-se também o granitóide Serra da Água Limpa. Este, tema da presente monografia, já foi cartografado nas folhas Itajubá e Campos do Jordão (Trow *et al*, 2007, Matos, 2008 e Vinagre, 2010) e está inserido na área de tese de doutorado de Patrícia Duffles.

Este corpo de dimensão batolítica, aflora na área em estudo por cerca de 80 Km² e situa-se na região da Serra da Mantiqueira na divisa do Estado de São Paulo e Minas Gerais e está inserida na Província Mantiqueira, também denominada Sistema Orogênico Mantiqueira, segundo Trouw *et al* (2000), Heilbron (2004), Campos Neto *et al* (2004) e Peternel *et al* (2005).

O trabalho consistiu no reconhecimento, mapeamento geológico, petrografia e análise geoquímica do granitóide Serra da Água Limpa (GSAL) que aflora nos campos altos da Serra da Mantiqueira.

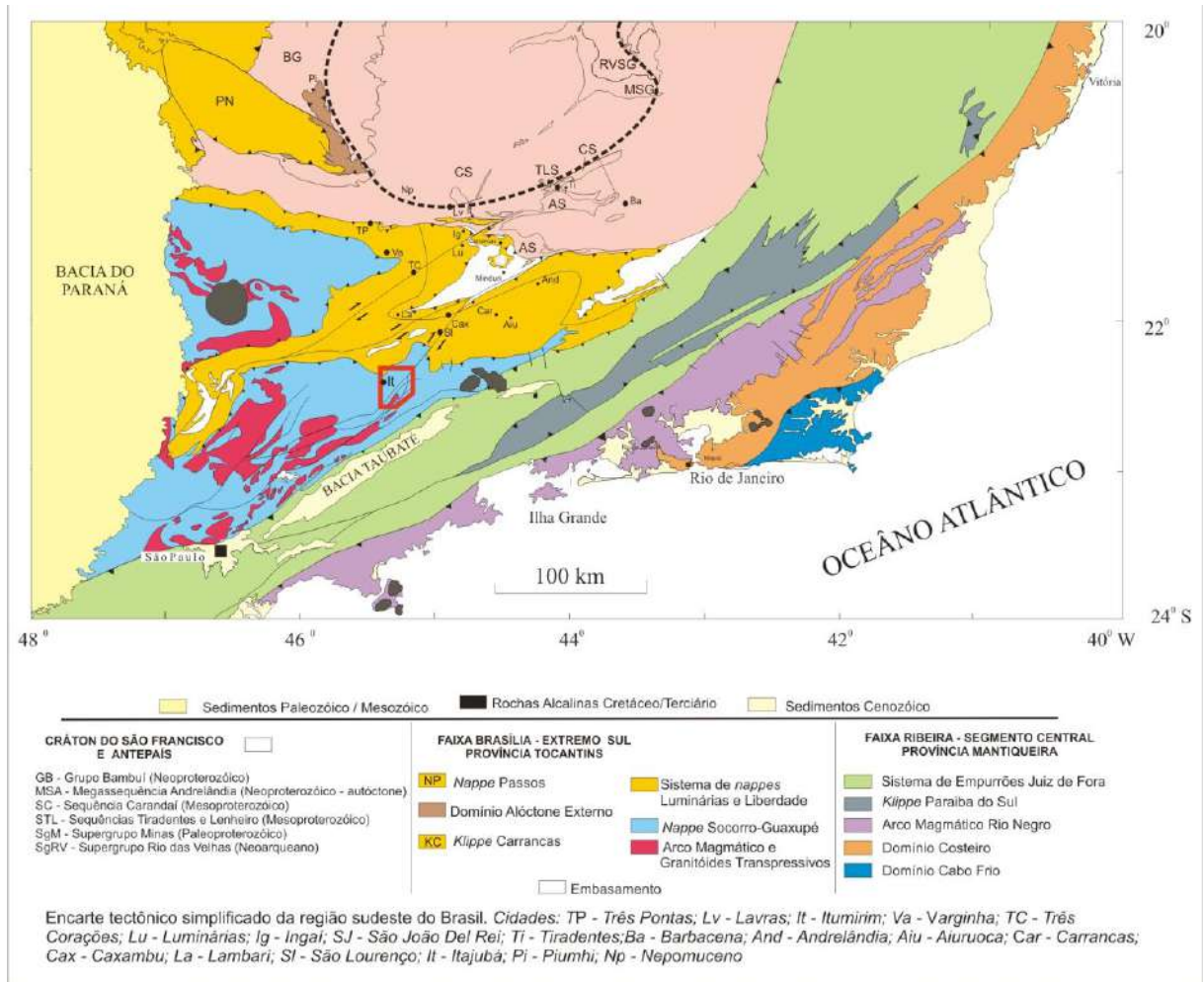


Figura 1: Mapa tectônico da Região Sudeste do Brasil (Trouw *et al.* 2000).

2 – OBJETIVOS

A aplicação e a integração de métodos como Mapeamento Geológico, Petrografia e Geoquímica são os objetivos principais do estudo, que tem seu foco a caracterização petrográfica, e geoquímica do Granitóide Serra da Água Limpa.

3 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área estudada está situada na região da Serra da Mantiqueira na divisa dos estados de São Paulo e Minas Gerais, entre os municípios de Campos do Jordão e Venceslau Brás. O polígono que demarca a área de estudo tem limites paralelos às coordenadas UTM (7502000 e 7484000) e (449000 e 474000), na zona 23 k Sul, e entre os meridianos 45 30' e 45 15' oeste e entre os paralelos 22 30' e 22 45' sul, inserida na Folha Delfim Moreira (SE-23-Y-B VI-1) do IBGE na escala 1:50.000 (Figuras 2 e 3).



Figura 2: Localização aproximada da folha Delfim Moreira 1:50.000.

S. Rita de Sapucaí	Itajubá	Virginia
Campos de Jordão	Delfim Moreira	Lorena
Tremenbé	Pindamonhangaba	Guaratinguetá

Figura 3: Articulação da folha Delfim Moreira 1:50.000

O acesso à área pode ser feito através de duas estradas de terra principais, sendo uma delas a partir do município de Venceslau Brás, acesso à parte nordeste da área, e a outra, a partir de Campos do Jordão, acesso à parte sudoeste da área. Em ambos os casos, o acesso é realizado pela Rodovia Presidente Dutra. A primeira opção segue-se até Lorena e então pela Rodovia BR 459 que liga Lorena a Venceslau Brás, e a segunda opção segue-se até Pindamonhangaba e então pela Rodovia SP 132 até Campos do Jordão. A partir daí o acesso se dá por vias secundárias de terra (Figuras 4 e 5).



Figura 4: Acesso a parte Nordeste da área.



Figura 5: Acesso a parte Sudoeste da área.

4. METODOLOGIA

Primeiramente foi feito levantamento bibliográfico preliminar, visando um entendimento geral da área. Em seguida foi realizada uma única etapa de campo onde foram coletadas amostras das rochas do corpo estudado, visando o estudo petrográfico e análise química, além do próprio mapeamento geológico. A parte do corpo estudada neste trabalho está inserida na folha topográfica Delfim Moreira, que faz parte do tema da tese de doutorado da aluna Patrícia Duffles. O código utilizado neste trabalho tem a mesma numeração dos pontos de sua tese de doutorado.

Após a etapa de campo, iniciou-se a etapa de laboratório, onde foram escolhidas amostras para confecção de lâminas petrográficas, que foram estudadas ao microscópio. Foi realizada a contagem modal de 9 lâminas do granitóide Serra da Água Limpa. As amostras coletadas para análises químicas foram preparadas e enviadas aos laboratórios analíticos. Os dados geocronológicos foram obtidos a partir da dissertação de mestrado de Vinagre (2010).

4.1. – PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Durante a etapa de campo foram descritos um total de 35 pontos, que foram georeferenciados por meio de coordenadas geográficas fornecidas por um GPS de marca Garmin, modelo Etrex e posteriormente plotados na carta topográfica Delfim Moreira do IBGE na escala 1:50.000.

Foram coletadas 10 amostras para estudo petrográfico. A coleta de amostras para análise química foi realizada em 6 pontos que satisfaziam as condições necessárias para tal procedimento.

4.2. – AMOSTRAGEM

Durante as etapas de campo foram selecionadas 10 amostras para a confecção de lâminas delgadas. Cuidados com a representatividade e com a qualidade dessas amostras foram tomados. Em campo, foram escolhidas amostras frescas que não tinham sofrido ações do intemperismo, evitando uma eventual mudança na composição química destas rochas devido a processos secundários. Tratando-se a rocha em questão uma rocha porfírica com megacristais de até 8 centímetros, observou-se especial cuidado na coleta de volume considerável de amostras para análise química, de maneira que atingisse a necessária representatividade do litótipo coletado.

4.3 – ETAPA DE LABORATÓRIO

4.3.1 – Petrografia

As 10 amostras selecionadas para confecção de lâminas delgadas e estudo petrográfico foram encaminhadas para o Laboratório de Laminação da do Depto. de Geologia da UFRJ. As lâminas delgadas foram estudadas no microscópio petrográfico Zeiss Axioplan, na UFRJ.

Através deste estudo foi possível classificar as rochas, estudar suas variações texturais e efeitos da deformação, assim como também sua composição mineralógica.

Entre as lâminas estudadas, 9 foram escolhidas para serem submetidas à contagem modal de 800 pontos em contador automático, com o objetivo de se obter uma classificação petrográfica modal para as rochas estudadas, segundo Streckeisen (1976).

4.3.2. – Análise Química

Foram coletadas cerca de 2 kg de amostras em cada um dos 6 diferentes pontos selecionados, sendo eles: PD-167, PD-171, PD-193, PD-198, PD-270 e PD 361 (Anexo A).

Em laboratório, as amostras foram cuidadosamente lavadas e secas, foi retirada a capa de alteração e em seguida foi iniciado o processo de britagem. Após a britagem, as amostras foram novamente lavadas e passaram pelo processo de quarteamento, até se obter uma quantidade de aproximadamente 100 gramas de material, que desta maneira tende a ser o mais representativo da rocha preparada.

Após o quarteamento, as britas foram limpas com jato de ar comprimido e levadas ao processo de moagem, utilizando o moinho do Laboratório de Laminação da UFRJ. Nesta etapa o equipamento foi cuidadosamente limpo, evitando contaminação do material.

Elementos maiores e traços foram dosados no Laboratório de Fluorescência de raios X do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, através de espectrômetro de fluorescência de raios X Philips PW2400, com tubo de Rh. A perda ao fogo foi obtida através da obtenção do peso da amostra antes e depois da mesma ser aquecida a 950°C por meia hora. Os elementos maiores foram detectados a partir da fusão de 1,2 g de pó do material com tetraborato de lítio. Os elementos traços foram determinados em 7g do pó da amostra, prensada com 1g de aglutinante *wax*. Os elementos leves foram dosados com as seguintes condições: detector de fluxo, cristal analisador PET/Ge e potência do tubo 40 kV - 70 mA. Os elementos pesados foram analisados com detector selado, cristais analisadores LIF200/LIF220 e potência do tubo 50 kV - 50 mA. Com base em análises de padrões, o erro analítico relativo estimado foi: Si, Al (<1%), Fe, Mg, Ca (1-2%), Ti, Na, K (3-5%), P e outros elementos traços ($\leq 6\%$). As curvas de calibração foram obtidas a partir da análise dos seguintes padrões internacionais: NIM-P, 521-84n, GBW07112, GIT-IWG, ANRT, BE-N

GIT, PM-S GIT, CRPG BR, AN-G GIT, GBW07104, GBW07110, GBW07111, AC-E, GS-N, MA-N, CRPG GH. Elementos terras raras foram analisados no laboratório *Acme Analytical Laboratories* Ltd. (Vancouver, Canadá) por meio de equipamento ICP-MS, a partir da fusão de 0,5g de amostra com LiBO₂. Para tratamento dos dados obtidos foi utilizado o programa *Geochemical Data Toolkit (GCDkit* ©1999-2007), versão 2.2.

4.4 – TRABALHO DE ESCRITÓRIO

Foi feito um levantamento bibliográfico de trabalhos anteriores e realizada a confecção do mapa de contorno litológico do Serra da Água Limpa com pontos e medidas, e confecção do layout final (Anexo A e B) para apresentação através do programa de geoprocessamento ArcGIS® versão 9.3. da ESRI, além da elaboração desta monografia propriamente dito. Para o mapa do Anexo A e B foi utilizada a escala 1:75.000 a fim de obter uma impressão do tamanho A3, apesar do trabalho de campo ter sido realizado na escala 1:50.000.

5 – NOMECLATURA ADOTADA PARA O LITOTIPO

Na classificação das rochas do Serra da Água Limpa foi utilizado o termo “granitóide” visto que essas rochas preservam suas características ígneas apesar de ser identificado no corpo feições de deformação e metamorfismo.

A forma dos grãos nas rochas foi classificada segundo o grau de desenvolvimento das faces cristalinas: grãos euédricos – com faces cristalinas bem desenvolvidas; grãos subédricos – apresentam limites irregulares e algumas faces bem desenvolvidas; e grãos anédricos – apresentam somente limites irregulares.

A forma dos agregados de grãos nas rochas foi descrita e classificada segundo a distribuição granulométrica: equigranulares: apresenta minerais de tamanho semelhante, inequigranulares porfírica: apresenta fenocristais em uma matriz fina; e inequigranular seriada: apresenta uma gradação no tamanho de seus cristais.

Para a geometria dos contatos, de uma maneira puramente descritiva, foram utilizados os termos: poligonal, serrilhado e em bainhas.

A classificação segundo a concentração de grãos minerais máficos nas rochas, o índice de cor (i.c.), foi feita segundo o padrão: i.c. < 5% - rochas hololeucocráticas; i.c. 5 – 30% - rochas leucocráticas; i.c. 30 – 60% - rochas mesocráticas; i.c. 60 – 90% - rochas melanocráticas; i.c. > 90% - rochas hipermelânicas.

Os limites granulométricos usados na descrição das rochas aqui descritas são: Granulação muito fina: <0,1 mm, Granulação fina: 0,1 a 1 mm, Granulação média: 1 a 4 mm Granulação muito grossa: 4 a 10 mm e rochas porfíricas com fenocristais > 8 mm.

6 – GEOLOGIA REGIONAL

6.1 – Contexto Geológico Regional

Segundo os trabalhos de Trouw *et al.* (2000), Heilbron (2004), Campos Neto *et al.* (2004) e Peternel *et al.* (2005), a área do presente trabalho está inserida na Província Mantiqueira (Almeida, 1967), também denominada Sistema Orogênico Mantiqueira (Figura 6). Esta província abrange cerca de 700.000 Km² da porção oriental do Continente Sulamericano, ao longo de 3.000 Km nas regiões sul e sudeste do Brasil. As faixas móveis Araçuaí, Ribeira, Brasília Sul, Dom Feliciano e São Gabriel, além da Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al.* 2004) compõem o arcabouço estrutural e metamórfico desta província. A área estudada está no extremo sul da Faixa Brasília, no domínio da Zona de Interferência.



Figura 6: Mapa tectônico simplificado da América do Sul com destaque para a Província Mantiqueira (Heilbron *et al.* 2004)

móvel, são eles: o sistema de nappes inferiores, constituído pelas nappes de Passos e Luminárias-Liberdade, sobrepostas pela Nappe Varginha, e contém sequências neoproterozóicas de margem passiva (Megassequencia Andrelândia); e o sistema de nappes superiores, constituído da Nappe Socorro-Guaxupé (NSG), que contém rochas provenientes de arco magmático (margem ativa da Paleoplaca Paranapanema). Os sistemas registram evolução metamórfica distinta. As nappes inferiores registram picos de metamorfismo em fácies anfibolito e em fácies granulito de alta pressão na Nappe Varginha, enquanto no sistema superior o pico metamórfico atingiu fácies granulito de alta temperatura e pressão moderada.

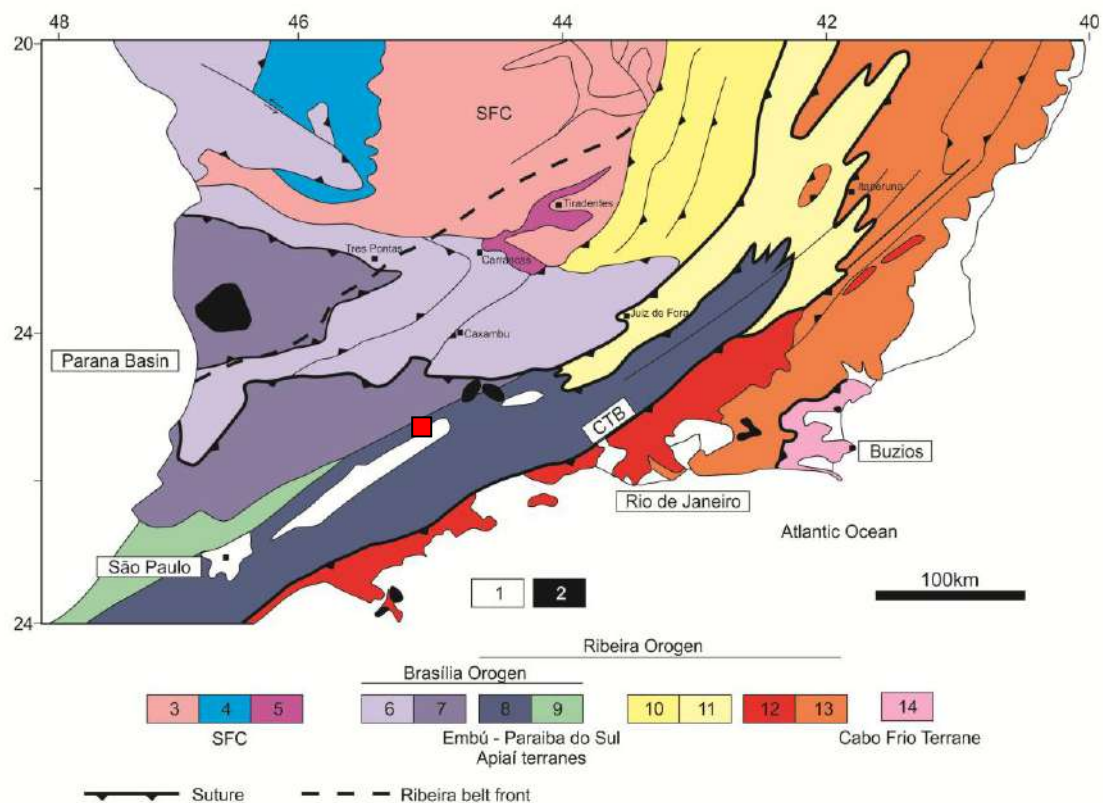


Figura 8: Mapa tectônico regional com a localização aproximada da área de estudo marcada pela quadrícula vermelha. Modificado de Trouw *et al.* (2011).

Mapa tectônico da transição entre a Faixa Brasília meridional e o segmento central da Faixa Ribeira: 1- Bacias sedimentares fanerozóicas; 2- Rochas alcalinas Cretáceas/Terciárias. 3- Embasamento do Cráton São Francisco; 4- Cobertura sedimentar do Cráton São Francisco; 5- Metassedimentos de domínios autóctones. Orogênio Brasília: 6- Nappe Socorro-Guaxupé; 7- Nappes inferiores. 8- Embú - Terrenos Paraíba do Sul; 9- Terreno Apiaí. Orogênio Ribeira: 10- Domínio externo e 11- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental. Terreno Oriental: 12- Arco Rio Negro; 13- Sucessões metassedimentares Neoproterozóicas; 14- Terreno Cabo Frio.

6.1.2 - Zona de Interferência

Zona de Superposição entre as faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al.*, 1994) representa o extremo sul da Faixa Brasília, onde suas características são gradualmente mascaradas pela superposição de eventos ligados à Faixa Ribeira (Ribeiro *et al.*, 1995; Campos Neto & Caby, 1999, Peternel, 2005). Esta zona localiza-se ao sul da borda meridional do Cráton do São Francisco onde afloram rochas de idade arqueana até terciária. (Figura 9)

Dentro deste contexto três grupos de rochas são reconhecidos na área: as rochas do Complexo Embu (Hasui, 1975 e Hasui & Sadowski, 1976), as rochas da Bacia Pico do Itapeva (Cavalcante *et al.*, 1979 e Teixeira, 2000), que está relacionado a uma bacia de *pull apart* Neoproterozóica e rochas originadas pelo magmatismo 660-640 no Domínio Socorro e na porção central da Faixa Ribeira (Hatchsparker, 2003).

6.1.3 - Complexo Embu

O Complexo Embu, originalmente definido por Hasui *et al.* (1975) e Hasui & Sadowski (1976), ocorre como uma faixa contínua de direção NE-SW, estendendo-se do Rio de Janeiro até a divisa de São Paulo com o Paraná. É limitado a sul pela falha de Cubatão, e a norte, pelas falhas de Taxaquara, Jaguari e Monteiro Lobato (Hasui *et al.*, 1981).

Fernandes (1991) define três unidades metassupracrustais para o Complexo Embu e relata cinco fases de deformação, além da presença de intrusivas tonalíticas a graníticas de afinidade cálcio-alcálica. A Unidade Redenção da Serra composta por gnaisses peraluminosos e (\pm granada)-biotita-plagioclásio gnaisses. A Unidade Rio Paraibuna com abundância de quartizitos e rochas calciossilicáticas e a Unidade Rio Una constituída de xisto, quartzo-xisto e quartizitos intercalados ritimicamente. A autora define ainda o Complexo Rio Capivari

composto por gnaisses migmatíticos de composição tonalítica a granítica correspondendo ao embasamento do Complexo Embu.

6.1.4 - Bacias tipo *Pull Apart* Neoproterozóicas

Nos setores Central e Meridional da Província Mantiqueira, entre os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina as bacias relacionadas com o estágio de transição da Plataforma Sul-Americana ocorrem associadas ao Sistema de Orógenos da Mantiqueira, disposto na direção NE-SW e controlado por zonas de cisalhamento transcorrentes de mesma direção, predominantemente.

A abertura de bacias sucessoras (Pico do Itapeva, Pouso Alegre e Eleutério) em domínios transpressivos, implantou-se e evoluiu de ambientes de sedimentação continental a marinho raso, dominado por planícies e correntes de maré e por ondas de tempestade. Possui registro fóssilífero do Neoproterozóico (*Acrítarcas Cloudinariamkeae* e foraminífero *Titanotherca coimbrae*, 570 – 540 Ma) e idade isotópica de área fonte de 600 Ma (Cavalcante et al, 1979 e Teixeira, 2000)

6.1.5 - Magmatismo 660-640 Ma no Domínio Socorro e na Porção Central Da Faixa Ribeira

Os corpos magmáticos são comuns ao longo de todo o Domínio Socorro e da mesma forma freqüentes em toda a Faixa Ribeira Central (Campos Neto et al., 2004; Santoro, 1998; Hackspacher et al., 2003). Possuem formas, dimensões, texturas, composições e idades variadas, o que permite distinções com relação as suas gêneses.

Hackspacher et al., 2003, determinou idades U-Pb entre 660 e 640 Ma, obtidas em cristais de zircão retirados de gnaisses e plutons cálcio-alcalinos, no sudeste da Província Mantiqueira Central, sugerindo que um importante evento de magmatismo pré-colisional ocorreu nessa região, precursor do metamorfismo principal registrado nos corpos meta ígneos

de caráter sin-colisional durante a amalgamação do Gondwana Ocidental. Segundo o mesmo autor, outras idades U-Pb de 650 ± 2 Ma, 646 ± 7 Ma e 653 ± 13 Ma, foram obtidas, respectivamente, em gnaiss monzogranítico ao sudeste de Itajubá, granulitos básicos da região de Maria da Fé e ortognaiss coletado próximo a cidade de Piracáia.

6.2 - – Dados Geocronológicos

Os primeiros dados geocronológicos GSAL foram obtidos através de zircões datados em 654 ± 2 Ma pelo método Pb/Pb, nas proximidades de Itajubá por Peternel (2005). Vinagre (2010) com o intuito de determinar a idade de cristalização dessa rocha na Folha Campos do Jordão, utilizou o método U/Pb através do processo *Laser Ablation*.

A maioria dos zircões analisados pelo método *Laser Ablation*, na folha Campos do Jordão plotam próximos a concórdia, entre 610 Ma a 660 Ma, com alguns poucos grãos entre 670 Ma e 710 Ma (Figura 9 a). A idade de metamorfismo é de 615, $7 \pm 4,2$ Ma obtida com análise de grãos mais jovens (Figura 9 b). O mesmo autor tem zircões datados em 654 ± 2 Ma em uma fácies inequigranular desse granitoide, nas proximidades de Itajubá.

Este corpo ígneo por ter dimensões batólicas, diferenças texturais e composicionais consideráveis, pode apresentar idades de cristalização diferentes para fácies diferentes.

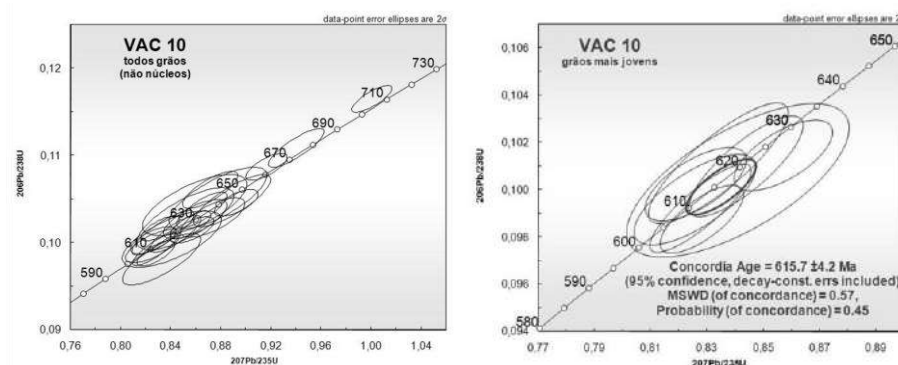


Figura 9: a) idade todos os grãos b) idade concórdia de metamorfismo. Vinagre (2010)

6.3 – Metamorfismo

Ebert (1971), Trouw et al., (1980, 1984, 1986, 2000), Ribeiro & Heilbron (1982) e Heilbron (1984) reconheceram metamorfismo regional progressivo, do tipo barroviano, nos metassedimentos proterozóicos do sul de Minas Gerais. O metamorfismo aumentaria de norte para sul e de leste para oeste, a partir do cráton, desde fácies xisto verde médio à anfibolito alto e granulito. Dois eventos metamórficos foram reconhecidos na região de interferência (Ribeiro et al., 1995, Oliveira Castro & Trouw, 1996). O primeiro, que atingiu fácies granulito de pressão relativamente alta, está associado à evolução da Faixa Móvel Brasília. O segundo evento, vinculado a Faixa Ribeira, foi de pressão mais baixa (~ 7 kbar) alcançando condições de fácies anfibolito.

O segundo evento colisional, relacionado com a Faixa Ribeira, registrou metamorfismo de pressão intermediária em grande parte da extremidade sul da Faixa Brasília Sul. Esta superposição de eventos pode ser observada no mapa (Figura 10), onde as isógradas sin-colisionais da Faixa Ribeira sobrepõem isógradas relacionadas à colisão na Faixa Brasília.

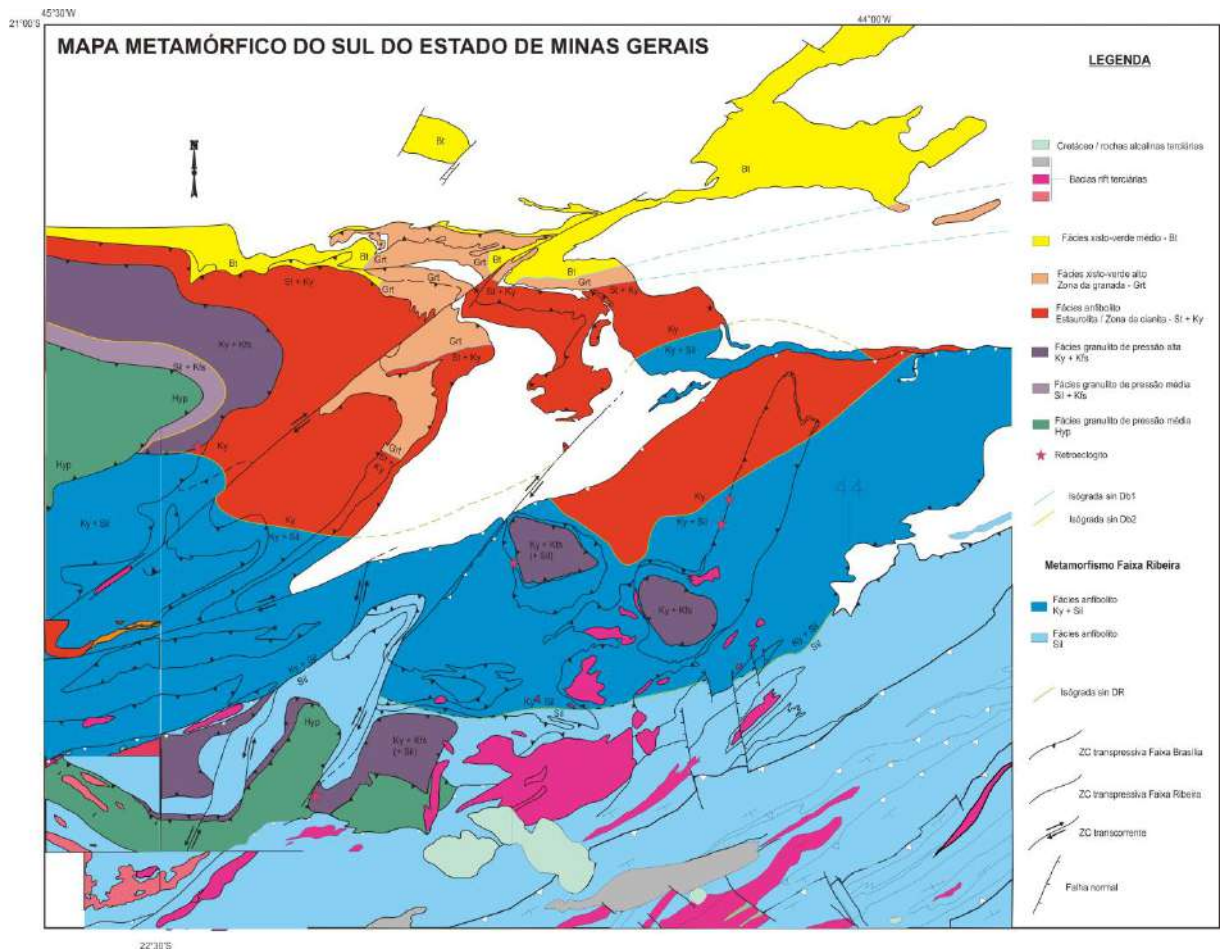


Figura 10: Mapa metamórfico simplificado da Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Ribeira (Peternel, 2005).

6.4 – Estrutural

A evolução estrutural regional pode ser compreendida no contexto de quatro fases de deformação principais. As duas fases referentes à Faixa Brasília, geraram *nappes* sin-metamórficas com transporte tectônico para E e NE (e.g. Sistema de *Nappes* Luminárias e Liberdade, *Nappes* Varginha e NSG) durante a colisão na Faixa Brasília. Estas fases geraram dobras apertadas a isoclinal com eixos subparalelos à lineação de estiramento E-W. Em seguida, os dois eventos referentes à colisão na Faixa Ribeira, geraram redobramentos, zonas de cisalhamento oblíquas com transporte tectônico para NW e zonas de cisalhamento direcional NE-SW. (Ribeiro, 1995, Trow, 2005, Peternel, 2005)

7 – GEOLOGIA DA ÁREA MAPEADA

O GSAL, de acordo com Teixeira *et al* (2000), é o embasamento para a Bacia Pico do Itapeva. Esta, acha-se tectonicamente encaixada na escarpa da Serra da Mantiqueira e são metaconglomerados que pertencem a uma bacia associada à tectônica transpressiva das zonas de cisalhamento direcionais.

Em função dos litotipos mapeados e da relação entre eles, uma unidade principal de mapeamento será adotada, o GSAL, e as rochas que bordejam este corpo, Bacia Pico do Itapeva e Sequência Metassedimentar Embu. O contato entre essas unidades não é bem definido e se encontra muito alterado, somente se observa rochas com textura milonítica caracterizando uma zona cisalhamento NE-SW com foliação 160/54 e lineação 72/10 ao sul do corpo. O mapa geológico que contém os pontos visitados encontra-se no Anexo A e o mapa com as medidas no Anexo B.

7.1 – Formação Pico do Itapeva

Não foram visitados afloramentos desta unidade, entretanto uma breve descrição segue baseada na literatura.

É uma sequência de rochas epimetamórficas de forma lenticular, ocorrendo por cerca de 12 quilômetros na direção N55E, mergulhando acentuadamente para sudeste. Acha-se tectonicamente encaixada no Complexo Embu.

Essas rochas são metaconglomerados, formados por blocos e seixos arredondados, atingindo dimensões em média de 12 cm, sendo constituídos por leuco-granodiorito e, subordinadamente, quartzo, gnaiss e turmalina-quartzo-xisto. A matriz brechóide mostra estrutura de fluxo, sendo composta por fragmentos quartzo-feldspáticos deformados,

envolvidos por uma massa de sericita, argilominerais, biotitas, opacos, muscovita, óxido de ferro e epidoto. Os metaconglomerados gradam para uma metareanito feldspático com matriz pelítica. (DNPM, Cavalcante, J.C. et al, 1979).

7.2 – Sequência Metassedimentar Embu

É um conjunto de metassedimentos, biotita paragnaisse e biotita sillimanita xisto intercalados com ortognaisse migmatítico (bt + hbl + Gr). Ocorrem ainda camadas de quartzito a norte e corpos lenticulares de Anfibolitos de granulometria fina à média, muitas vezes boudinados.

Pelo menos dois tipos distintos de rochas foram observados:

Biotita-gnaisse Migmatítico

Trata-se de um ortognaisse migmatítico de granulometria fina a média e bandamento composicional bem definido, que ocorre intercalado com o Biotita Gnaisse Migmatítico. Quando proto a milonítico, os porfiroclastos de feldspato apresentam-se arredondados. (Figura 11)

Composto essencialmente por quartzo, feldspato e biotita e hornblenda. Allanita, titanita e opacos são acessórios. Em lâmina observa-se ora predominância de K-feldspatos sobre plagioclásio, ora predominância de plagioclásio sobre K-feldspatos. Foram observadas dobras fechadas a isoclinal com plano axial paralelo ou formando baixo ângulo com a foliação principal. Localmente apresenta-se milonítico com diminuição de granulometria, estiramento mineral e feições de recristalização.



Figura 11: Biotita-gnaiss migmatítico com dobras fechadas.

Biotita-sillimanita xisto

Correspondem rochas de textura xistosa, composta essencialmente por quartzo, biotita e muscovita, podendo apresentar sillimanita, granada e pouco feldspato (Figura 12). Frequentemente encontram-se alteradas, apresentando coloração avermelhada (Figura 13). Corpos lenticulares de anfibolito com granulometria fina a média, muitas vezes boudinados ocorrem associados.

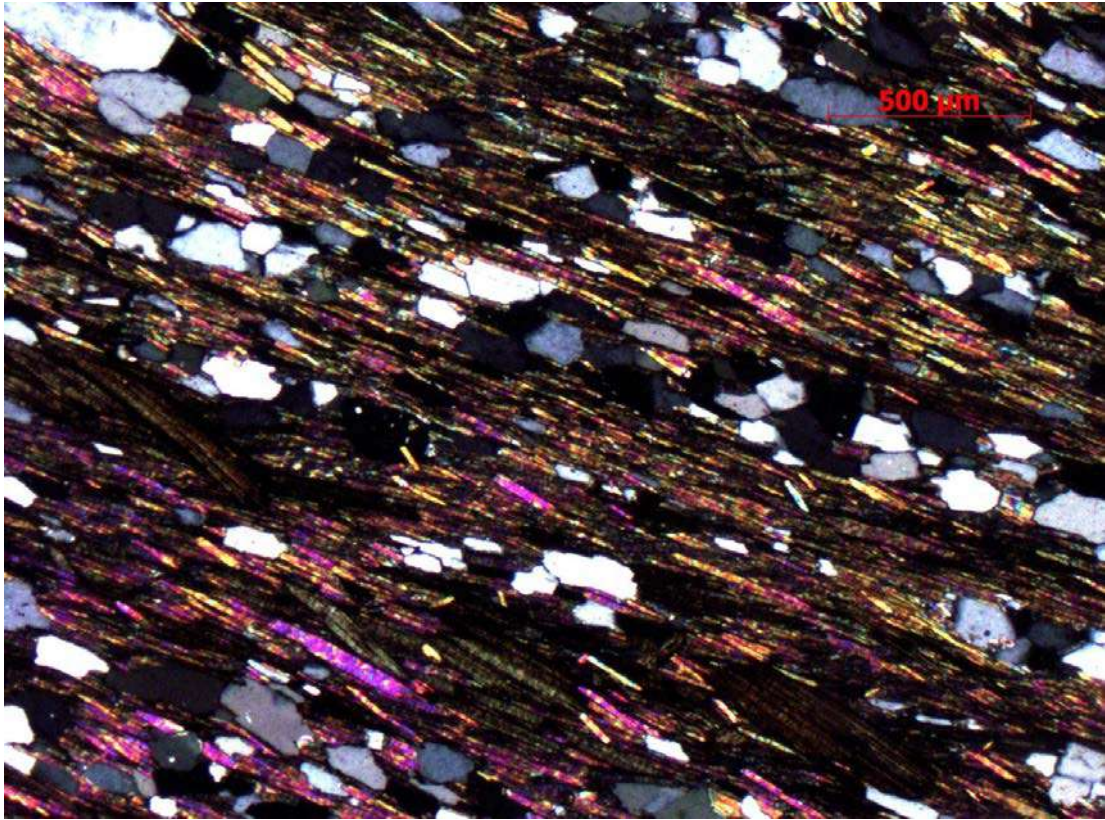


Figura 12: Aspecto microscópico Biotita sillimanita xisto.

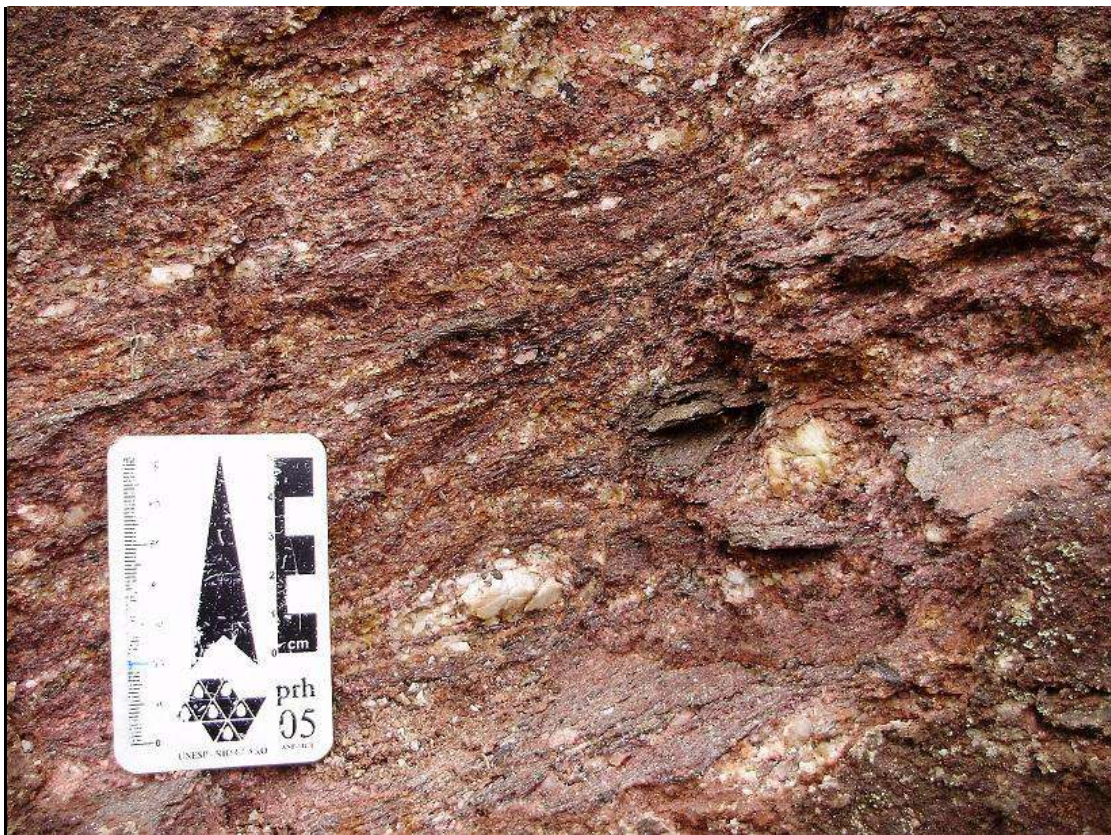


Figura 13: Biotita - Sillimanita xisto.

7.3 – Granitóide Serra da Água Limpa

O corpo de composição monzogranítica a granodiorítica, tem uma área aproximada de 80 Km², com geometria elipítica alongada e está alongado e paralelo à foliação regional NE-SW.

7.3.1 – Aspecto de Campo

Devido a maior resistência a alteração e erosão, produz um relevo característico acentuado em relação às rochas encaixantes, aflorando também nas partes altas da Serra das Mantiqueira.

A rocha apresenta textura inequigranular porfirítica (Figura 14 e 15). E trata-se de um granitóide rico em quartzo, com fenocristais subédricos de feldspatos (K-feldspato e plagioclásio) tabulares, de cor cinza e dimensões de até 8 cm no eixo maior. A matriz apresenta granulação média a grossa sendo composta predominantemente por quartzo, feldspatos e biotita. Localmente a rocha apresenta textura equigranular fina onde há concentração de matriz e diminuição da granulometria.

A orientação dos fenocristais de feldspatos e das biotitas define uma lineação mineral E-W/suborizotal e SW-NE/suborizotal, que pode estar bem marcada ou mostrar caráter incipiente.

Feições anatéticas são identificadas com níveis leucossomáticos de composição quartzo-feldpática, os quais se encontram dobrados com plano axial paralelo à foliação tectônica (Figura 16). Na parte sul do corpo a deformação chega a formar milonitos (Figura 17).



Figura 14: GSAL em afloramento com textura inequigranular porfírica.



Figura 15: Aspecto geral do granitóide Serra do Água Limpa



Figura 16: Lente quartzo feldspática dobrada, com plano axial paralelo à foliação regional.



Figura 17: GSAL com textura milonítica.

7.3.2 – Petrografia

As lâminas analisadas apresentam composição variando de monzogranítica a granodiorítica. A rocha tem textura porfirítica, sendo os fenocristais compostos por plagioclásio e microclina com a matriz constituída essencialmente de quartzo, microclina, plagioclásio e biotita, como acessórios ocorrem minerais opacos, titanita, hornblenda, zircão e apatita. Em geral a matriz possui granulometria média e textura equigranular. Sericita, epidoto e clorita são as fases secundárias identificadas.

A microclina apresenta-se como cristais anédricos de até 1 cm na matriz e como fenocristais subédricos de até 4 mm. Em ambos os casos, possui intercrescimento reage com plagioclásio formando mirmequita (Figura 18) nesse último, e a geminação encontrada é predominantemente *Tartan* e raramente a *Carslbade*.

O contato com os outros minerais é serrilhado, com deformação e recristalização nas bordas (Figura 18), às vezes formando bainhas (Figura 19). Há inclusões de plagioclásio, quartzo, opacos, titanita, biotita e zircão, dando um aspecto poiquilítico ao mineral. (Figura 20)

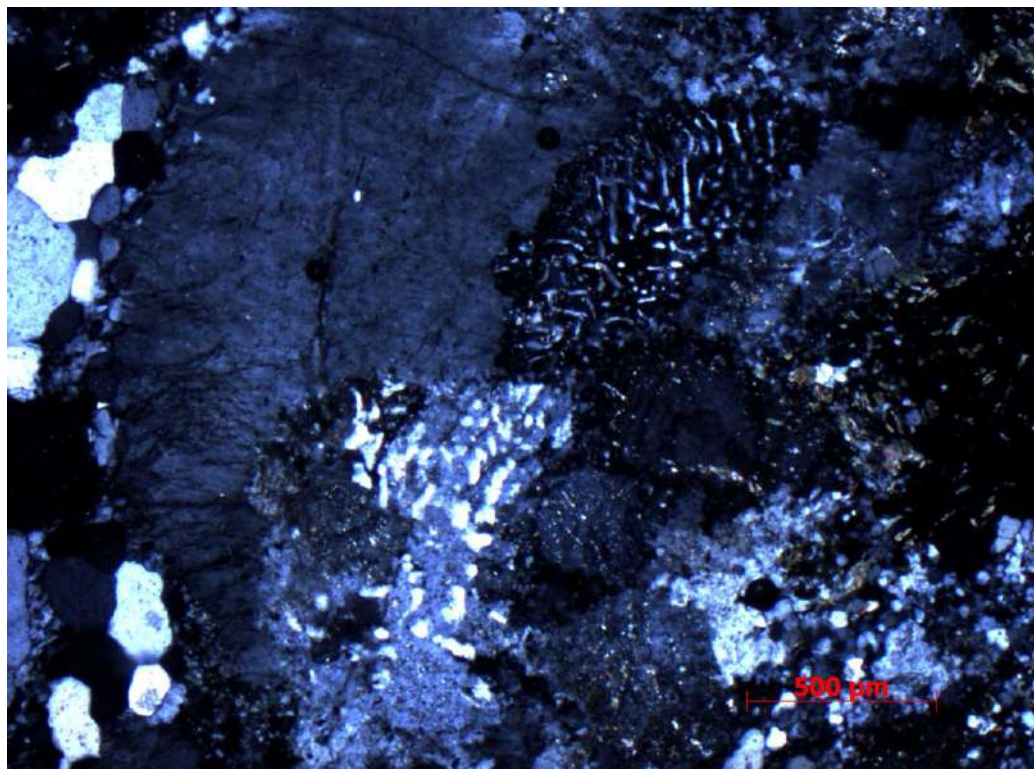


Figura 18: Contato entre a microclina e o plagioclásio formando mirmequita.

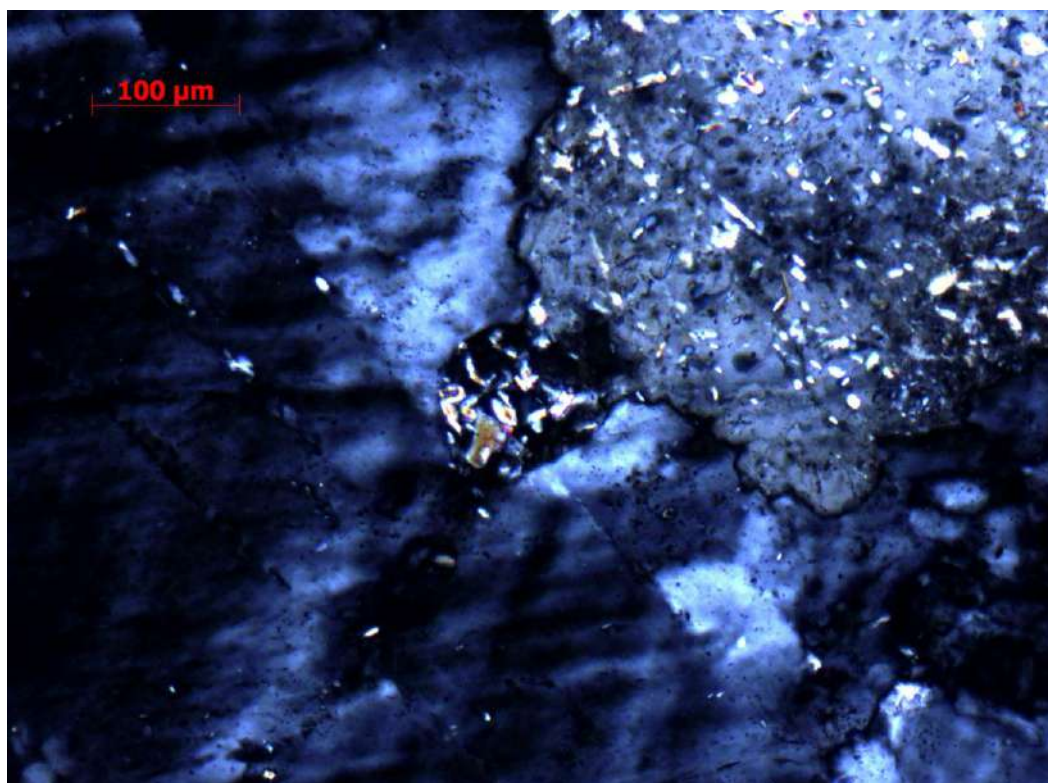


Figura 19: Contato entre a microclina e o plagioclásio em bainhas.

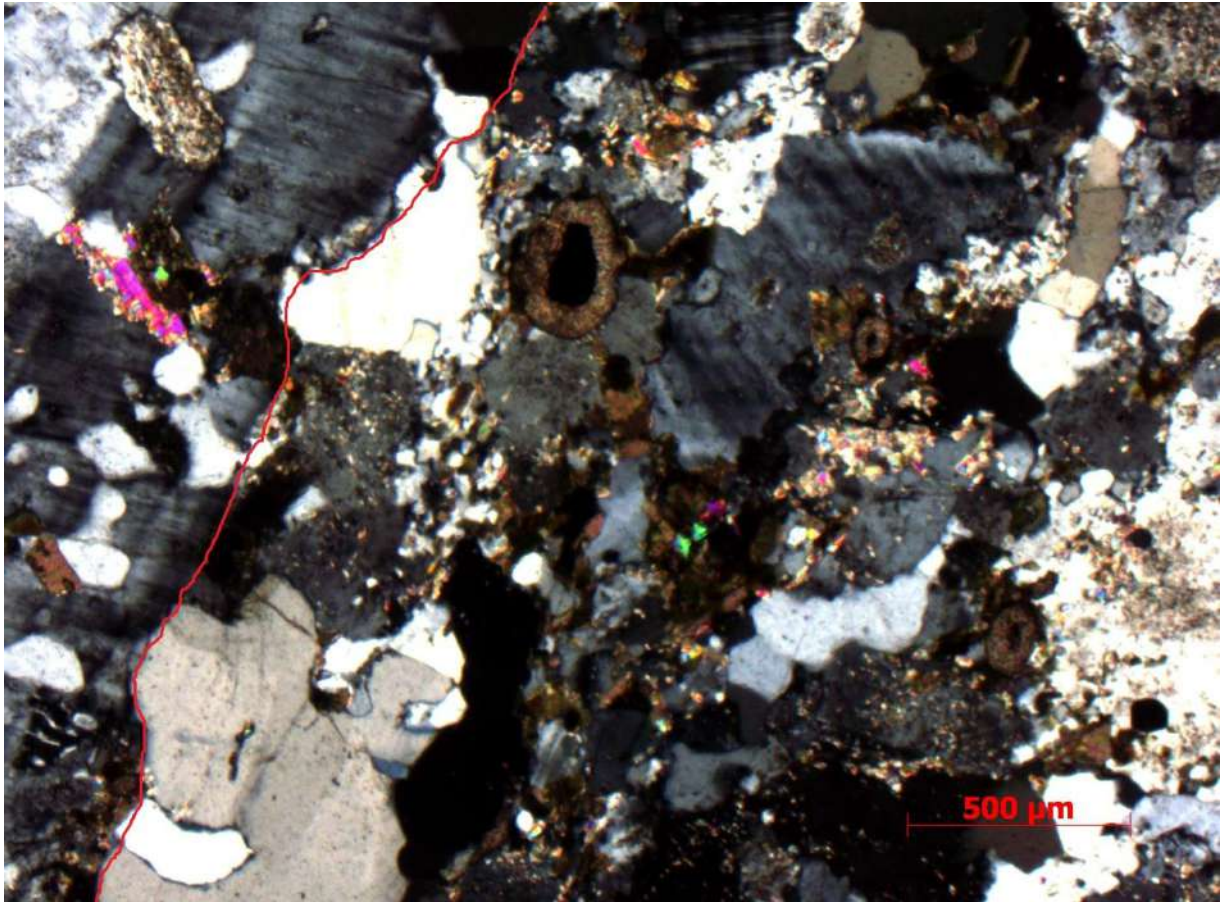


Figura 20: Microclínio a esquerda marcado em vermelho com aspecto poiquilítico e coroas de titanitas bordejando opacos.

Os cristais de plagioclásio ocorrem tanto como fenocristais subédricos a anédricos, tabulares e arredondadas, ou estão presente na matriz com forma irregular. Os cristais na matriz têm até 4 mm, com extinção ondulante e estão fortemente sericitizados, ou às vezes epidotizados. A geminação polissintética é rara, sendo eles reconhecidos principalmente pela freqüente alteração. Há inclusão de zircão, quartzo, biotita e rutilo (Figura 21).

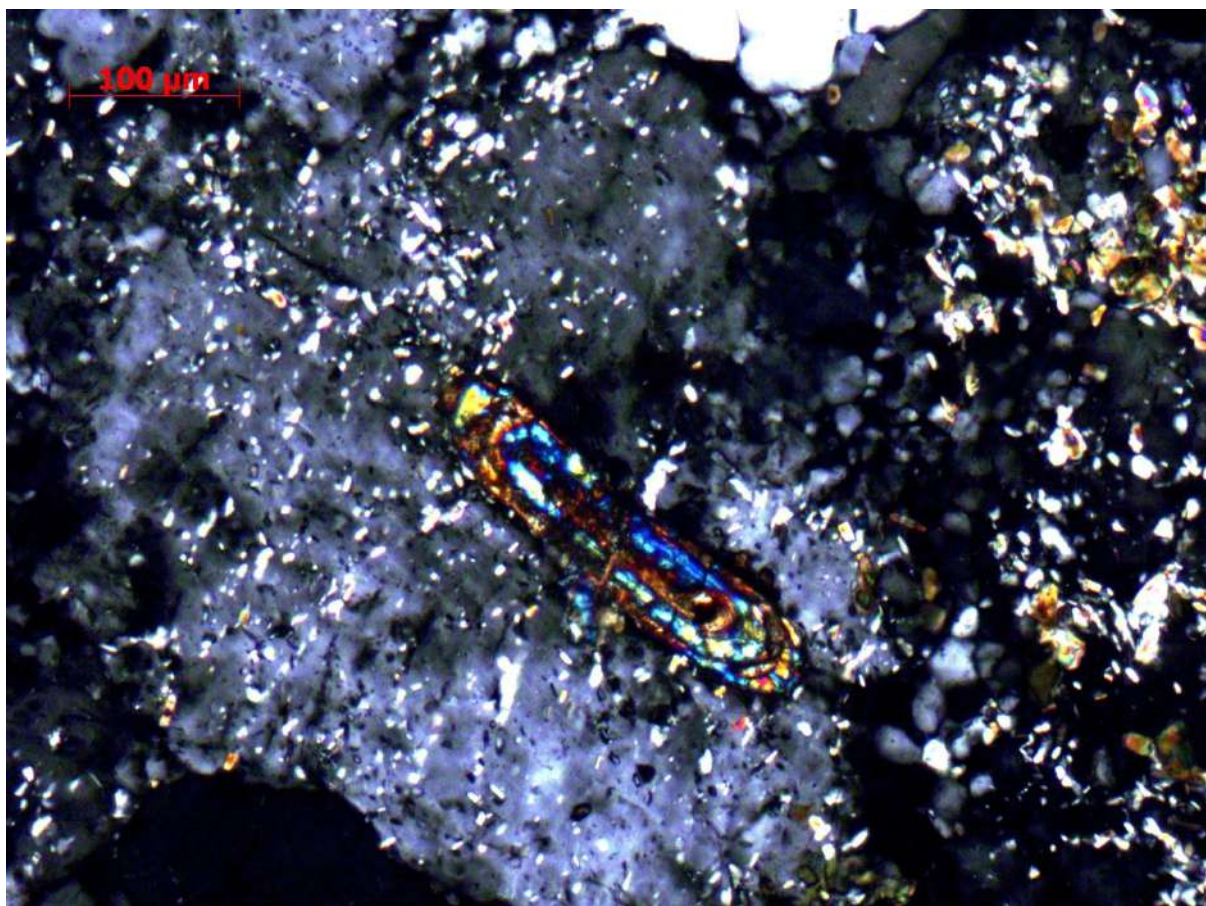


Figura 21: Plagioclásio fortemente sericitizado, com inclusão de zircão.

Os grãos de quartzo são anédricos a subédricos, têm a granulação fina, com tamanho em média de 0,2 mm e estão recristalizados, desenvolvendo localmente textura mosaico poligonal organizada em fitas que varia de pouco orientada a uma foliação bem definida, (Figura 22). Possui inclusões de zircão, titanita, apatita, biotita e opacos.

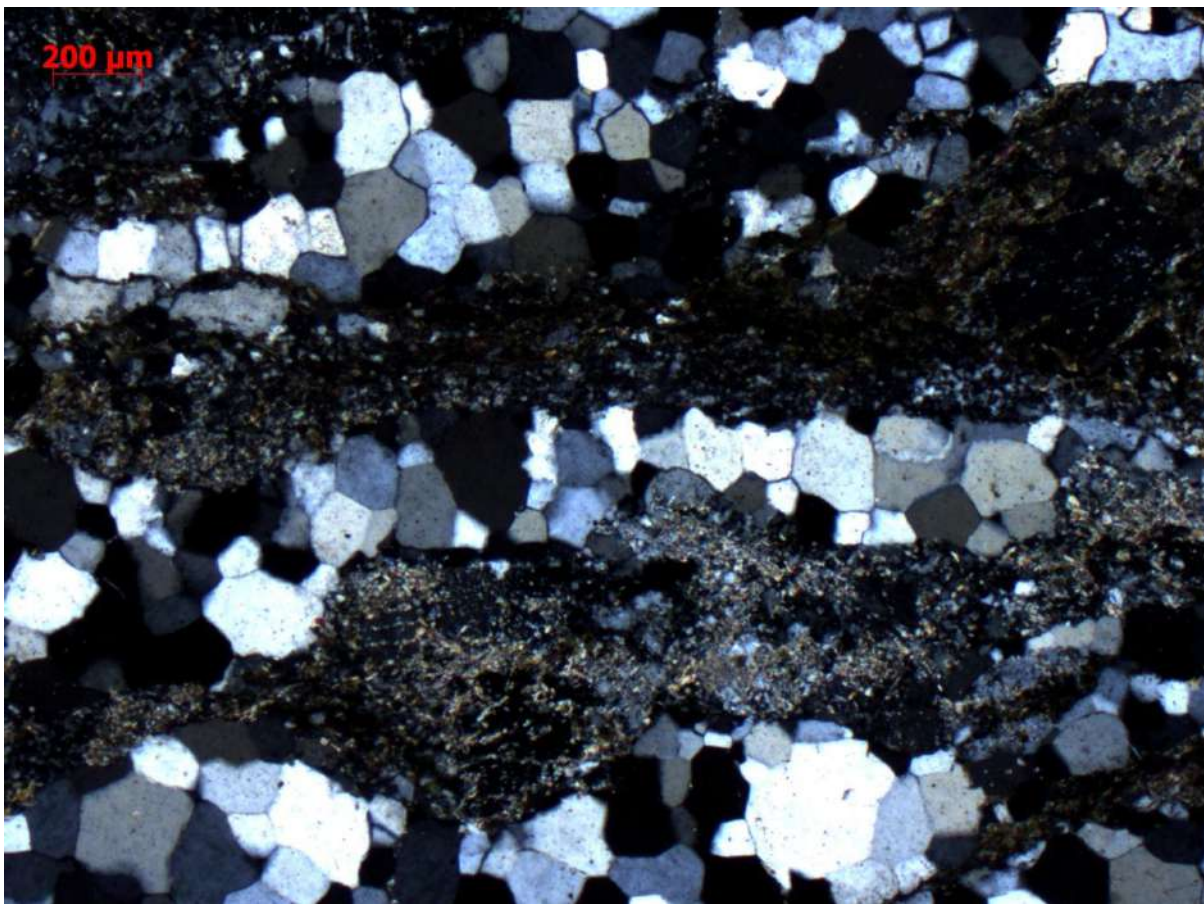


Figura 22: Fitas de quartzo recristalizado em meio a plagioclásio muito sericitizado.

A biotita está presente na matriz, tem granulação fina com cristais laminares de até 1 mm, e pleocroísmo marrom. Às vezes se apresentam alteradas para clorita.

Os cristais de zircão são diminutos e prismáticos com borda arredonda, de tamanhos inferiores a 0,1 mm, mostrando anéis de crescimento (Figura 21).

Os cristais de titanita são anédricos a subédricos, de até 1 mm, apresentando forma irregular a losangular, às vezes ocorrem como coroas bordejando opacos (Figura 20).

Os cristais de allanita são marrons acastanhados, com tamanho inferior a 0,4 mm e apresentam bordas de crescimento (Figura 23). Os minerais opacos (ilmenita) são euédricos e

subédricos de tamanho 0.5 mm, com contatos bem definidos, às vezes sendo bordejados por titanita. (Figura 20).

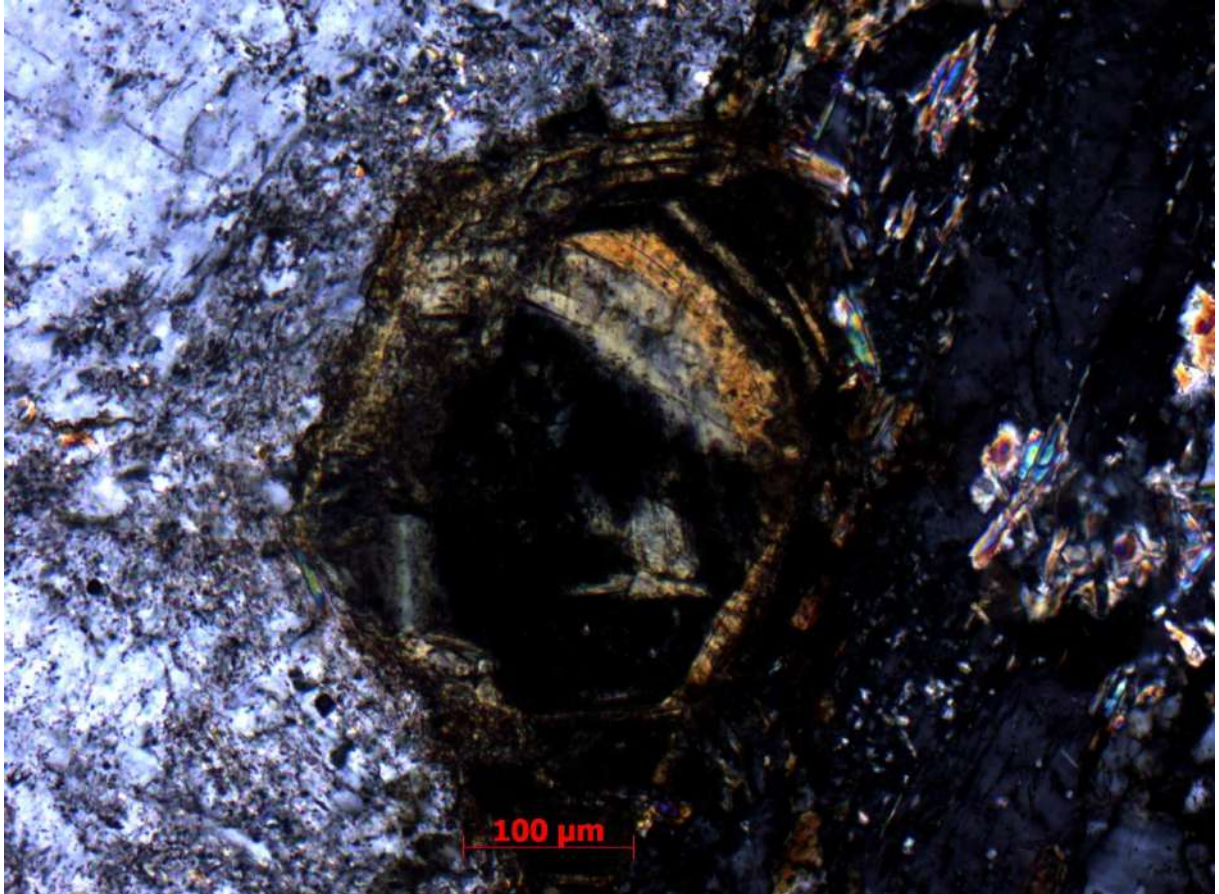


Figura 23: Allanita com bordas de crescimento.

A hornblenda é rara, e quando presente aparece junto da biotita, formando a porção máfica da rocha. Normalmente é anédrica, possui pleocroísmo de verde a verde escuro e cor de interferência amarronzada.

Apatita ocorre como pequenos cristais prismáticos finos, com bordas arredondadas, inclusos no plagioclásio e na microclina. Os cristais de rutilo/leucoxênio são anédricos com pleocroísmo marrom avermelhado, granulação fina, e ocorrem junto da biotita.

Os mineral secundário principal é sericita, que ocorre alterando o plagioclásio, também ocorre epidotização do plagioclásio (Figura 24) e clorita alterando a borda da biotita.

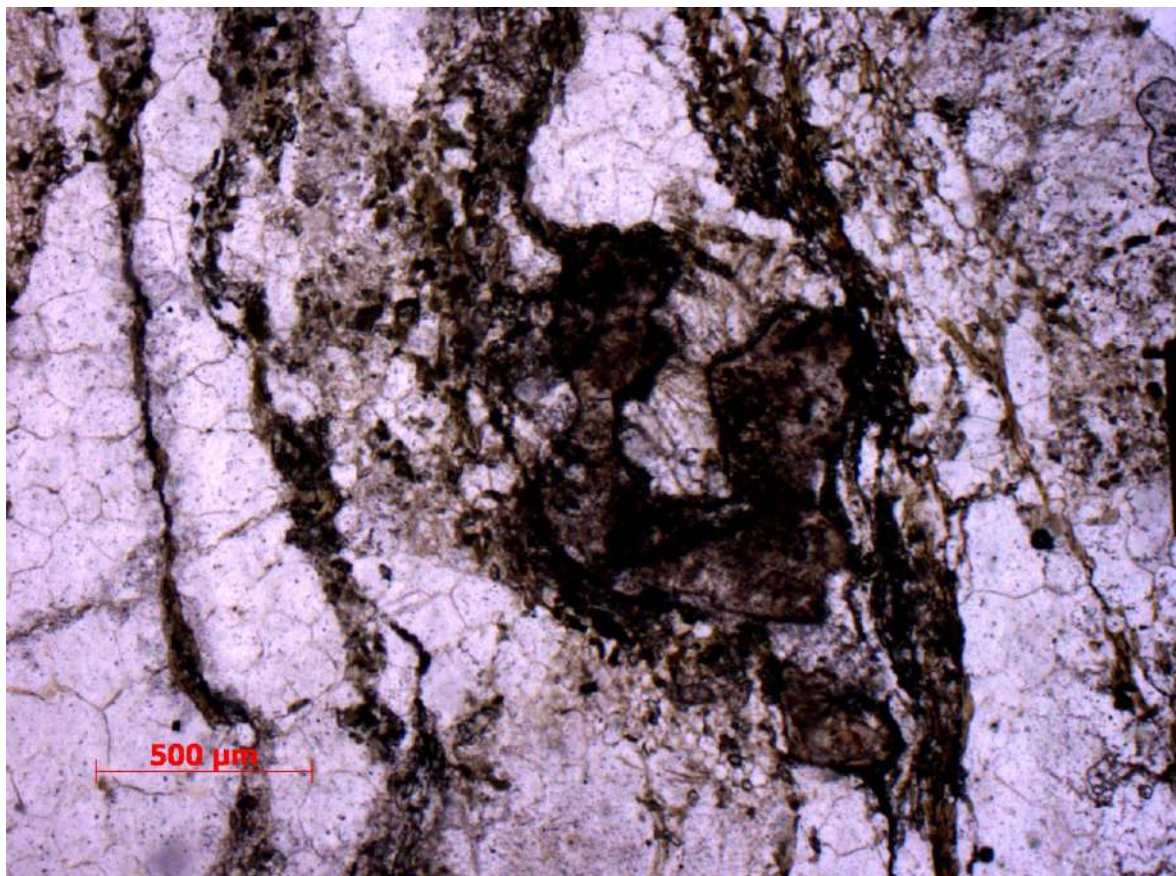


Figura 24: Epidoto alterando para plagioclásio.

Na Tabela 1 encontram-se os resultados modais obtidos para o granitóide Serra da Água Limpa, a partir de contagem de 800 pontos em contador automático. A Figura 25 traz o diagrama QAP classificando as rochas estudadas como monzogranito a granodiorito, excetuando uma no campo do sienogranito e outra no campo do tonalito.

Tabela 1 Resultado (em %) da contagem modal (800 pontos) de lâminas do granitóide Serra da Água Limpa.

Mineral	PD-270	PD-197	PD-193	PD-171	PD-167	PD-361	PD-367	PD-346	PD-347
Quartzo	37,6	28,5	51,1	44,8	28,7	28,7	29,3	36,8	43,7
Plagioclásio	19,4	33,3	23,7	25,8	24,2	27	18,7	17,0	6,7
Microclina	22,8	8,5	2,7	18,1	22,8	27,1	33,6	40,5	22,5
Biotita	15,6	21,7	11,1	9,0	10,2	9,1	14	4,1	25,1
Zircão	0,5	0,6	0,2	0,1	ET	0,1	0,7	0,2	-
Apatita	ET	-	-	-	-	-	-	-	-
Titanita	3,2	0,6	-	-	0,2	0,1	0,6	-	0,8
Alanita	0,2	0,6	-	ET	-	0,1	ET	-	0,1
Rutilo	-	0,6	ET	-	-	ET	ET	-	-
Opacos	0,1	0,6	0,2	ET	0,5	0,3	0,1	-	-
Sericita	0,1	0,3	7,3	1,5	10,6	5,8	2,1	0,5	-
Epidoto	0,1	4,8	3,2	0,1	2,0	1,2	0,6	0,6	0,6
Clorita	-	0,1	0,1	0,1	0,2	MS	MS	0,1	-

Q	47	37,8	58	50	32,5	32	34,7	38,5	59,4
P	24,5	51	39	30	41,6	37,8	25,6	42,5	10
A	28,5	11,2	3	20	25,9	30,2	39,7	19	30,6

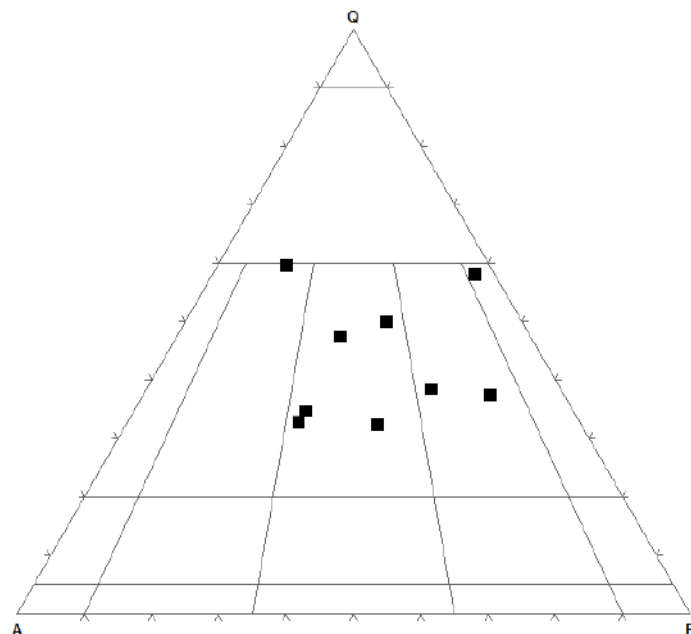


Figura 25: Diagrama QAP para as amostras do granitóide SAL.

8 – GEOQUÍMICA DO GRANITÓIDE SERRA DA ÁGUA LIMPA

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos nas análises químicas para os elementos maiores e traços, além das razões ACNK, Mg#, K/Rb e Rb/Sr. O valor de ACNK foi obtido através da divisão da porcentagem de Al_2O_3 molar pela soma das porcentagens molar dos álcalis. O número de magnésio foi obtido através da seguinte fórmula: $\text{Mg\#} = (\text{MgO}/40,3)/\{(\text{MgO}/40,3)+(\text{Fe}_2\text{O}_3/159,69)*2\}$.

Para obter a razão K/Rb, foi necessário primeiramente obter a concentração de potássio em ppm e para isso efetuou-se a multiplicação da porcentagem de K_2O pelo fator 0,830147. O resultado foi multiplicado por 10.000, de maneira a converter a concentração de porcentagem para ppm. O valor encontrado foi dividido pela concentração em ppm de Rb, chegando-se assim a razão K/Rb.

A razão Rb/Sr foi obtida pela divisão das concentrações de tais elementos. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas análises químicas para os elementos terras raras, além das razões Ce/Yb normalizados, Dy/Yb normalizados e Eu/Eu normalizados. Para a normalização destes elementos foi utilizado o fator proposto por Boynton (1984). A razão $(\text{Ce}/\text{Yb})\text{N}$ foi obtida pela divisão da concentração de Cério normalizado pela concentração de Itérbio normalizado. De maneira análoga foi obtida a razão $(\text{Dy}/\text{Yb})\text{N}$. A razão $\text{Eu}/\text{Eu}^*\text{N}$ foi obtida através da divisão de Európio normalizado pela metade da soma de Samário normalizado e Gadolínio normalizado.

Tabela 2: Análises químicas de elementos maiores, menores (% em peso) e traços (em ppm) e parâmetros geoquímicos.

Amostras	PD-167	PD-193	PD-361	PD-171	PD-198	PD-270
SiO ₂	72,03	70,80	71,07	72,59	63,30	70,58
TiO ₂	0,32	0,32	0,08	0,29	0,83	0,55
Al ₂ O ₃	15,20	15,76	14,91	14,28	16,80	15,02
Fe ₂ O ₃ T	2,60	2,58	2,38	2,33	4,99	2,79
MnO	0,02	0,23	0,02	0,02	0,06	0,04
MgO	0,72	0,64	0,42	0,71	1,51	0,70
CaO	1,84	1,91	1,07	1,57	3,15	1,66
Na ₂ O	3,12	3,22	2,64	3,40	3,24	3,31
K ₂ O	3,62	3,93	6,08	3,95	4,78	5,27
P ₂ O ₅	0,07	0,08	0,08	0,06	0,26	0,11
P.F.	0,83	0,83	0,83	0,75	0,66	0,33
Total	100,29	100,05	100,46	99,988	99,624	100,41
Cr	-	-	-	62	100	96
Ni	1,5	0,6	1,1	37	34	38
Co	16	19,2	21,3	10	25	12
V	41	95	53	41	95	53
Zn	33	32	37	59	75	91
Rb	89,6	101,5	174	158	155	299
Ba	586	836	1077	1014	1461	1094
Sr	323,9	360,3	292,9	374	424	236
Ga	-	-	-	26	23	27
Nb	4,9	6,2	8,4	24	17	27
Zr	141,9	168,6	225,3	145	300	367
Y	5	4,7	10,7	23	24	28
Th	-	-	-	9,3	15,6	47,3
U	-	-	-	1,3	1,0	3,4
ACNK	1,22	1,21	1,16	1,12	1,03	1,06
Mg#	0,35	0,33	0,26	0,38	0,38	0,33
K/Rb	335,76	321,43	290,5	207,6	256,4	146,6
Rb/Sr	0,28	0,28	0,59	0,42	0,37	1,27

P.F.: Perda ao fogo . ACNK: $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{N}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O})$. Mg#: $(\text{MgO}/40,3)/\{(\text{MgO}/40,3)+(\text{Fe}_2\text{O}_3/159,69)*2\}$

Tabela 3: Análises químicas de elementos terras raras (em ppm)

Amostras	PD - 167	PD-171	PD - 193	PD-198	PD-270	PD - 361
La	47,9	21	27,3	57,0	140,9	102,5
Ce	87,2	46,4	62,8	147,9	257,0	157,3
Pr	9,38	4,54	5,66	14,06	29,11	21,54
Nd	31,3	17,6	21,4	51,5	94,5	78,9
Sm	4,54	2,59	2,85	8,48	11,58	10,19
Eu	1,06	0,99	0,9	1,87	1,39	1,8
Gd	2,36	1,96	1,64	6,75	6,35	5,97
Tb	0,24	0,25	0,22	0,96	0,70	0,62
Dy	0,96	1,18	1,03	5,19	3,13	2,94
Ho	0,16	0,2	-	0,87	0,46	-
Er	0,4	0,48	0,45	2,22	1,12	1,06
Tm	0,06	0,07	0,06	0,3	0,16	0,13
Yb	0,41	0,5	0,39	1,9	1,1	0,84
Lu	0,06	0,08	0,07	0,26	0,13	0,12
Total	186,03	97,84	124,94	299,26	547,63	384,29
(Ce/Yb)N	55,01	24,00	41,65	20,13	60,43	48,43
(Dy/Yb)N	1,51	1,53	1,71	1,77	1,85	2,27
Eu/Eu*N	0,89	1,29	1,16	0,73	0,45	0,65
SiO ₂	72,032	72,592	70,806	63,307	70,589	71,075

N – Normalizado - $Eu/Eu^*N: (Eu/0,0735)/\{[(Sm/0,195)+(Gd/0,259)]/2\}$

Normalização utilizada: Boynton, 1984.

8.1 Classificação do Magmatismo

Com o intuito de caracterizar geoquimicamente o granitóide Serra do Água Limpa foram realizadas seis análises químicas de elementos maiores e traços. Para complementar, estão plotados nos gráficos cinco análises químicas do GSAL da folha Campos do Jordão da dissertação de mestrado de Vinagre (2010) e sete análises químicas do GSAL da folha de Itajubá da dissertação de mestrado de Matos (2008).

Nos diagramas que se seguem, as amostras analisadas quimicamente são tratadas em conjunto, as amostras pretas são os resultados obtidos no presente trabalho, e as amostras vermelhas são os resultados obtidos por Vinagre (2010) e Matos (2008).

▲ - Amostras deste trabalho

♦ - Amostras Vinagre (2010) e Matos (2008)

Os teores de sílica das amostras deste trabalho variam entre 63,23% e 72,03% e o diagrama de variação TAS (Figura 26), total álcalis x teores de sílica, mostra que é uma série magmática subalcalina. As amostras mostraram um caráter ácido plotando nos granitos, enquanto que as amostras coletadas por Vinagre (2010) e Matos (2008) elas variam de granodiorito a granito.

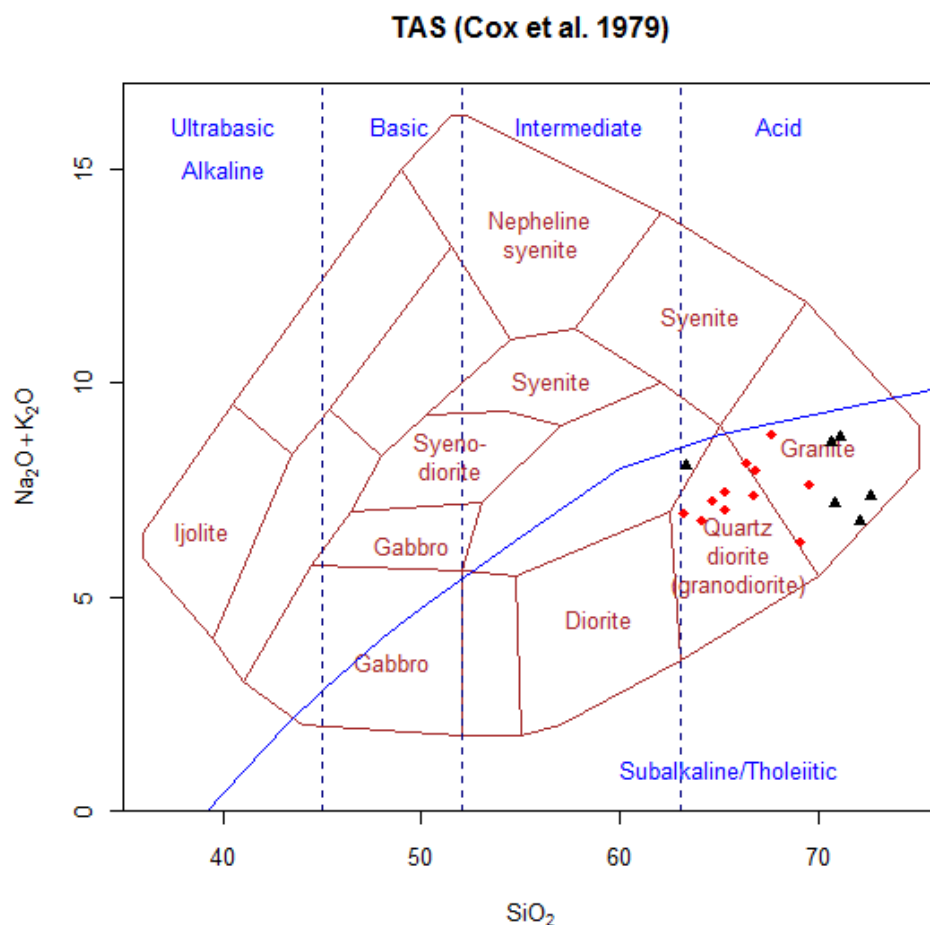


Figura 26: Diagrama TAS (Cox et al. 1979)

O diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) apresentado na figura 27, mostra um *trend* cálcio-alcálico. As rochas da área de estudo aparentam ser uma porção mais evoluída em relação às demais amostras do GSAL, originadas de um magma empobrecido em Fe e rico em álcalis.

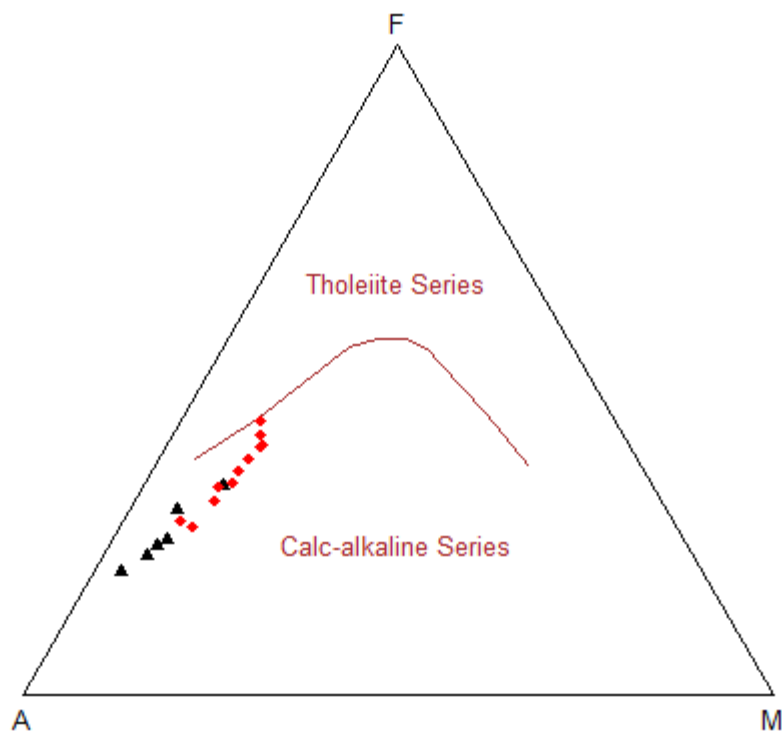


Figura 27: Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971)

A saturação de potássio, observada no diagrama de Peccerillo & Taylor (1976) figura 28, indicou afinidade cálcio-alcálica de alto K.

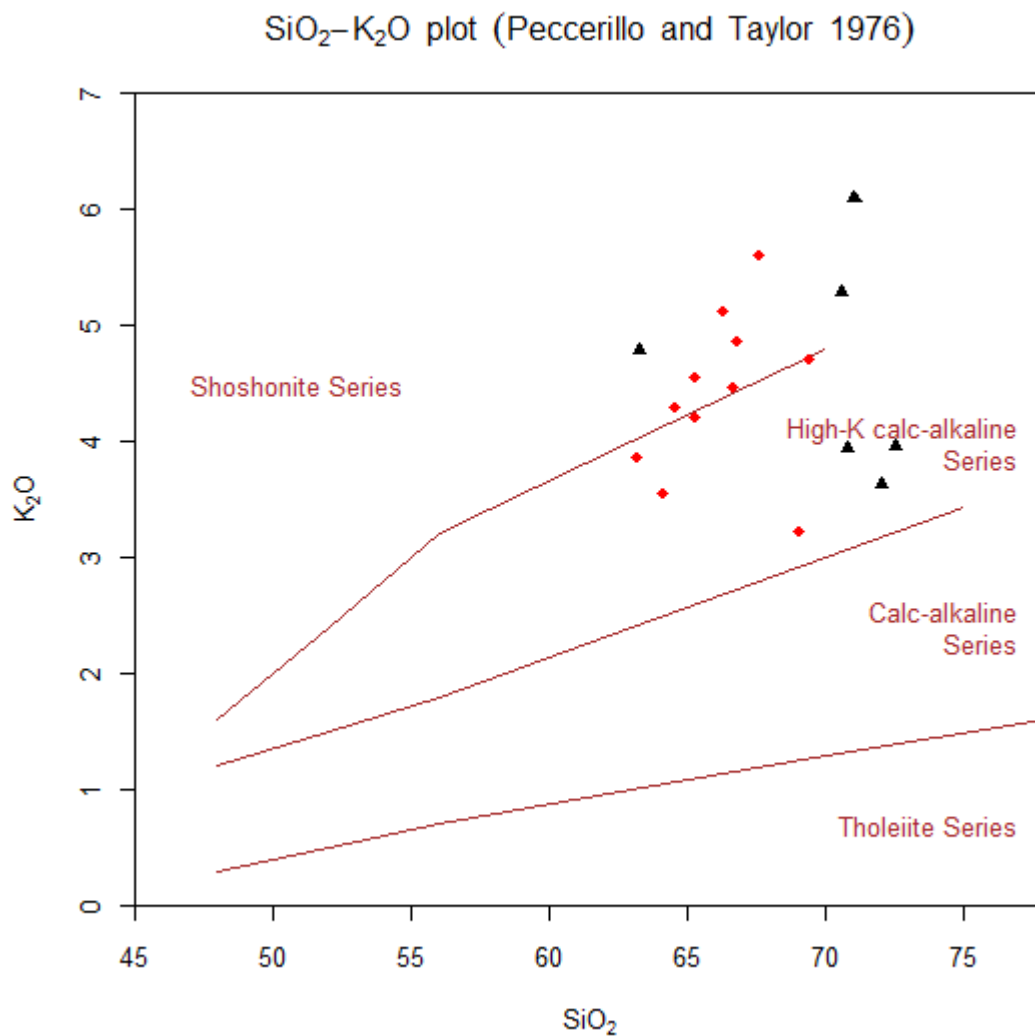


Figura 28: Diagrama SiO_2 x K_2O (Peccerillo & Taylor, 1976)

O diagrama $\text{A/CNK} - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{N}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O})$, apresentado na figura 29, classifica as rochas em questão como peraluminosas, plotando no limite entre os campos metaluminoso e peraluminoso, isto pode estar relacionado a uma possível contribuição de fonte aluminosa.

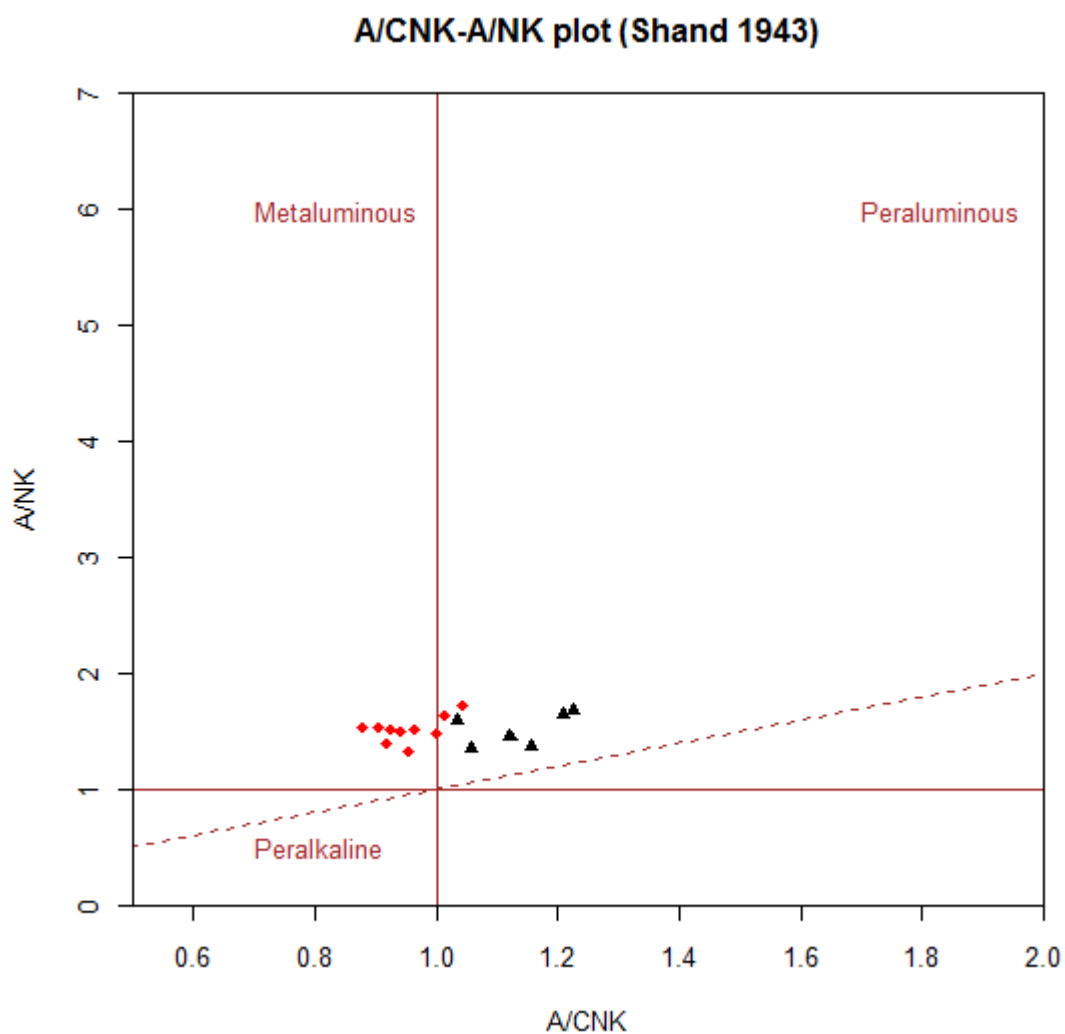


Figura 29: Diagrama ACNK - $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{N}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O})$, Índice de Shand.

No diagrama Q X P Debon & Le Fort, figura 30, as rochas plotam predominantemente nos campos dos granitos, conforme proposto na classificação modal.

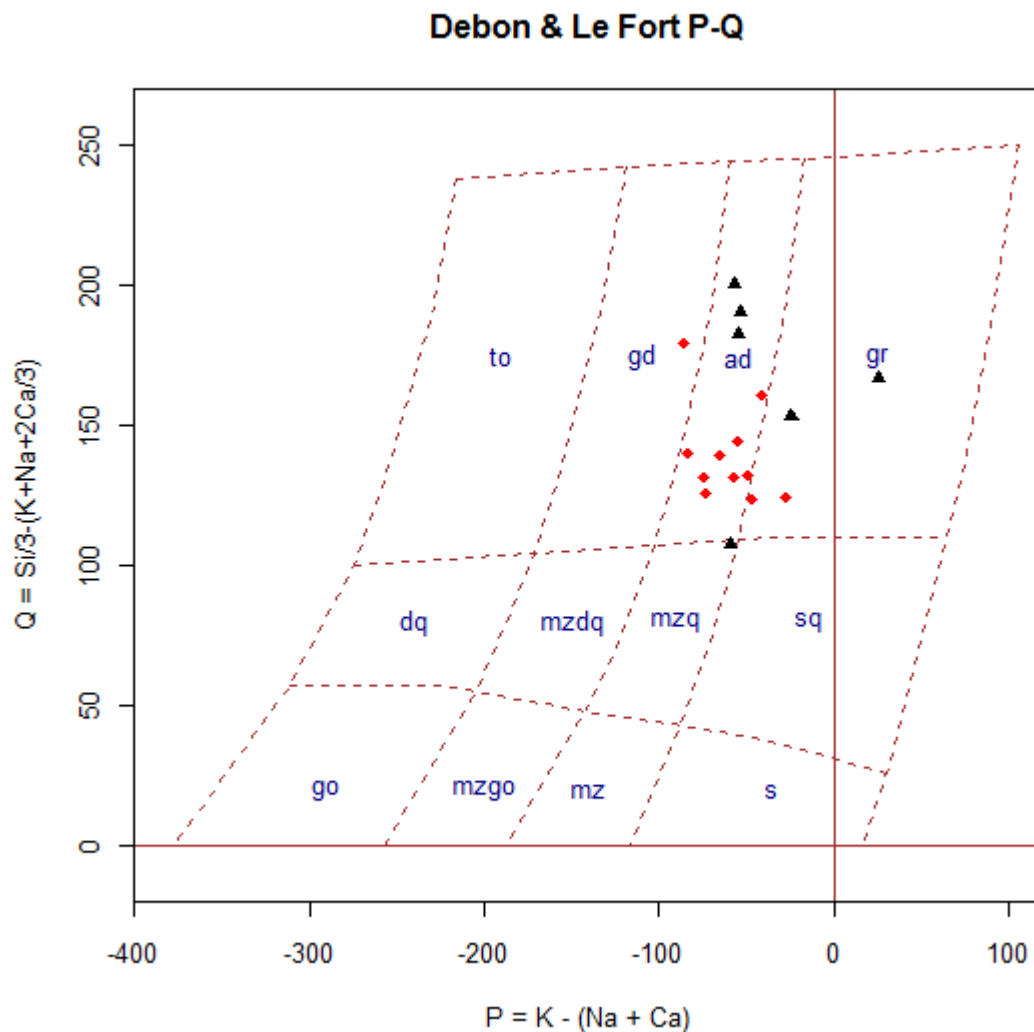


Figura 30: Diagrama Q x P Debon & Le Fort

Foi utilizado os diagramas de Pearce *et al* (1984) para a proposição de ambiente tectônico de geração de rochas graníticas, figura 31, as rochas de Matos, 2008 e Vinagre, 2010 plotam no granitos de intraplaca (WPG), e as rochas da área de estudo mostra um *trend* evolutivo e plotam no campo dos granitos de arcos vulcânicos (VAG). Esses resultados, propõem que são granitos de arco magmáticos pré-colisionais, e condiz com o esperado para o GSAL.

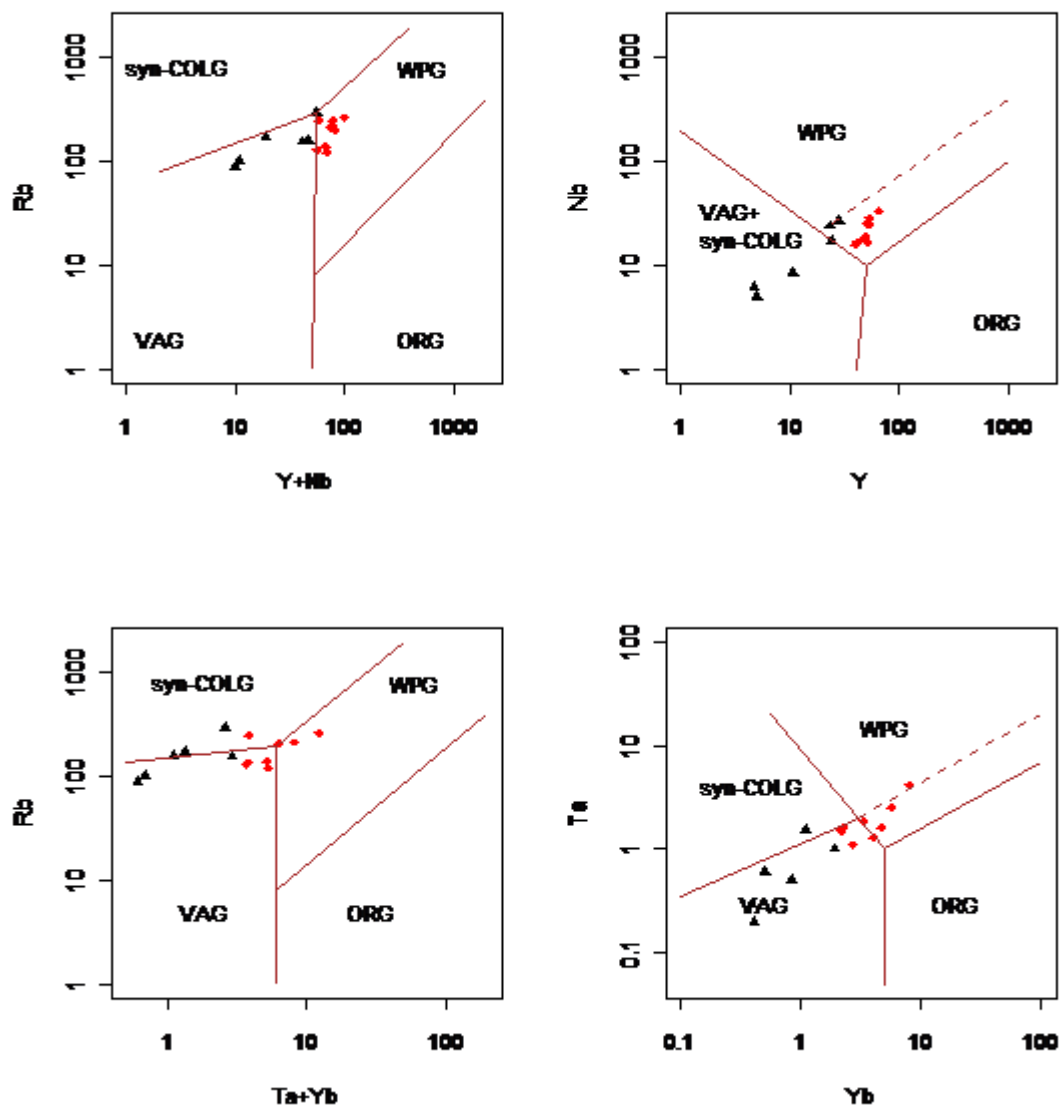


Figura 31: Diagramas discriminantes para rochas graníticas, de Pearce et al (1984).

VAG: Granitos de Arco Vulcânico
WPG: Granitos Intraplaca.

Os diagramas de Harker (1909), mostrados na figura 32, apresentam o comportamento de diferentes óxidos quando plotados contra o teor de SiO₂.

As amostras analisadas apresentam pequena variação dos teores de SiO₂ dificultando a observação de *trends* evolutivos. Ainda assim, é possível observar a diminuição dos teores de TiO₂, Fe₂O₃, Ca₂O, P₂O₅, MnO e MgO com o aumento do teor de SiO₂. Já os óxidos Na₂O, Al₂O₃ e K₂O apresentaram-se dispersos.

Esses *trends* representam a mineralogia da rocha. O decréscimo de TiO₂ estaria relacionado a fracionamento da Titanita e Ilmenita. A entrada do Fe na composição das biotitas e hornblendas, causou o decréscimo do Fe₂O₃, e a cristalização do plagioclásio e das apatitas causaram o decréscimo de Ca₂O e P₂O₅, respectivamente.

Nos diagramas de Harker (1909), mostrados na figura 33, para Elementos Traços plotados contra o teor de SiO₂. A maioria das amostras plotam dispersas, sendo difícil reconhecer um *trend* evolutivo. Apenas é reconhecido decréscimo de V, Y e Sr. O decréscimo de V pode estar relacionado ao fracionamento dos óxidos de Fe (Ilmenita e Titanita), e o decréscimo de Y devido a cristalização das hornblendas, enquanto que o Sr corresponderia ao comportamento dos feldspatos, devido a substituição do Ca nestes minerais.

Novamente podemos considerar que as amostras estudadas representam fases evoluídas do granitóide Serra do Água Limpa, como sugerido nos gráficos anteriores, ao plotarmos conjuntamente as amostras da área em estudo com aquelas estudadas por Vinagre (2010) e Matos (2008).

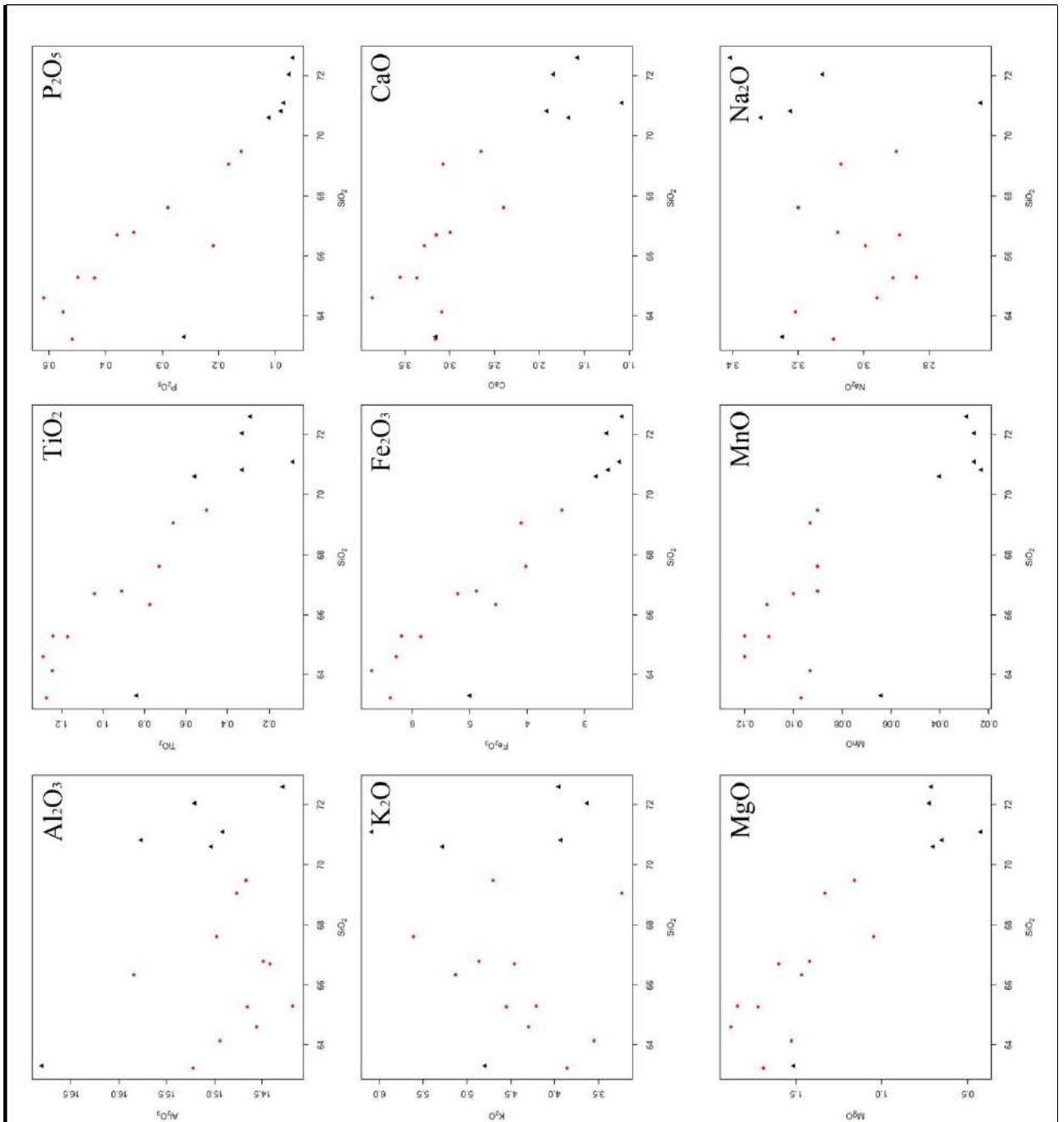


Figura 32: Diagrama de Harker para óxidos.

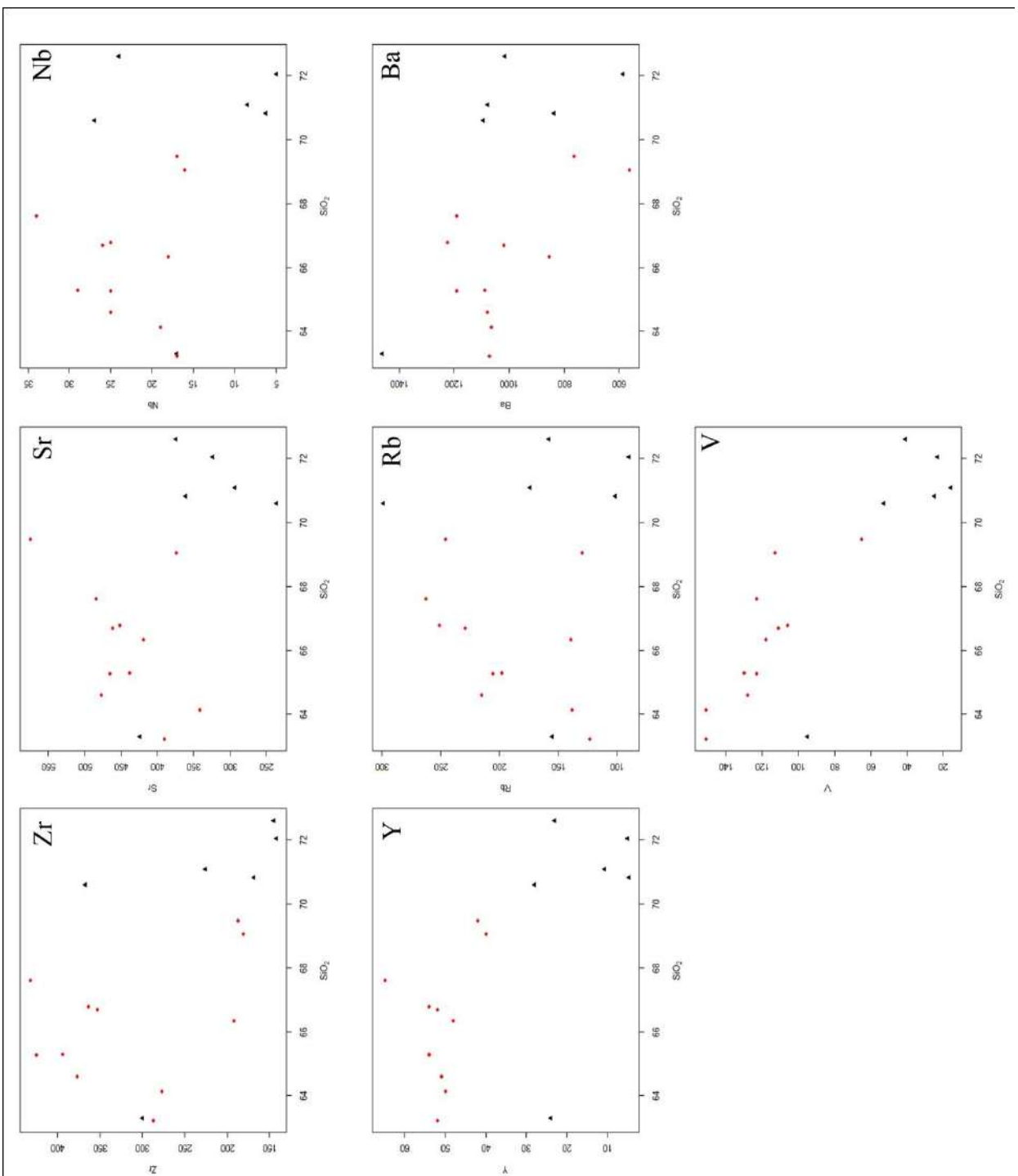


Figura 33: Diagrama de Harker para elementos traços.

Na figura 34 mostra o diagrama dos elementos traços normalizados com o manto empobrecido (NMORB), para o granitoide Serra da Água Limpa. A evolução da série cálcio-alcalina se faz pelo fracionamento de minerais ricos em HFS, caso da illmenita (Ti), rutilo (Ti), titanita (Ti) e apatita (P)

Anomalias negativas de HFS, elementos de elevado potencial iônico (Nb, P, Ti), em relação a NMORB, sugerem assinatura de arco para as rochas estudadas, o que corrobora em parte com o resultado obtido para ambiência tectônica no diagrama de Pearce *et al.* (1984).

Na figura 35 mostra o diagrama dos elementos terras raras normalizados com o condrito. A alta concentração de ETR leves é característica de rochas crustais e é devido a incorporação preferencial dos ETRs de maiores raios iônicos na fração líquida, nos equilíbrios em sistemas silicáticos cristal/líquido.

A valência do Eu modifica-se em relação a fugacidade do O₂. Sob baixa condições de fugacidade, o Eu torna-se divalente tornando-se semelhante geoquimicamente ao Ca⁺² e Sr⁺², substituindo-os no feldspato. Assim, as anomalias negativas de Eu pode indicar que fracionamento de plagioclásio tenha sido relevante na evolução do magma.

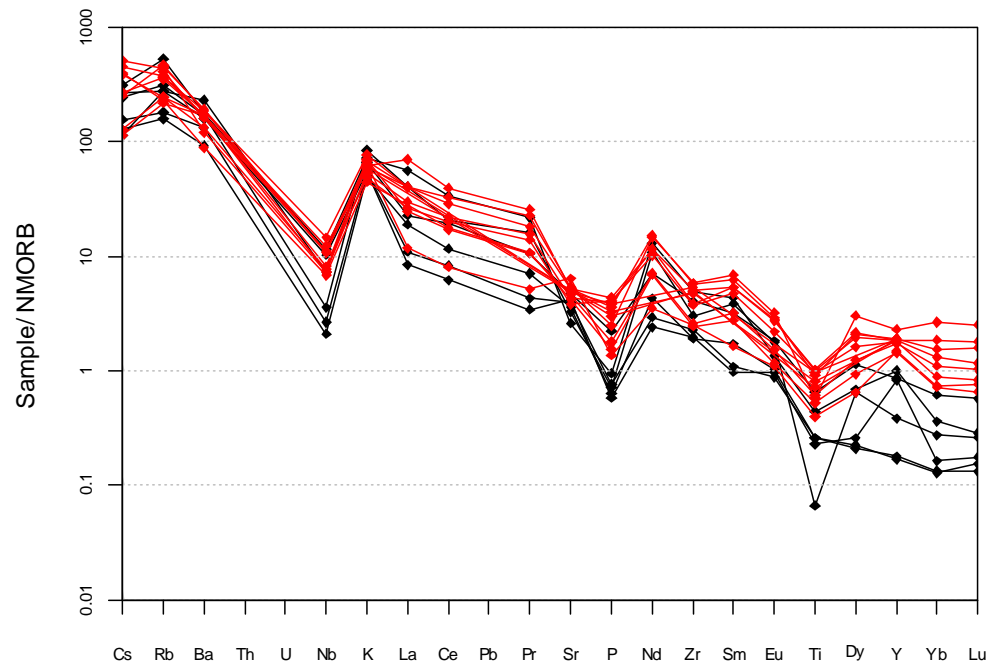


Figura 34: Diagrama multi-elementar normalizado com NMORB.

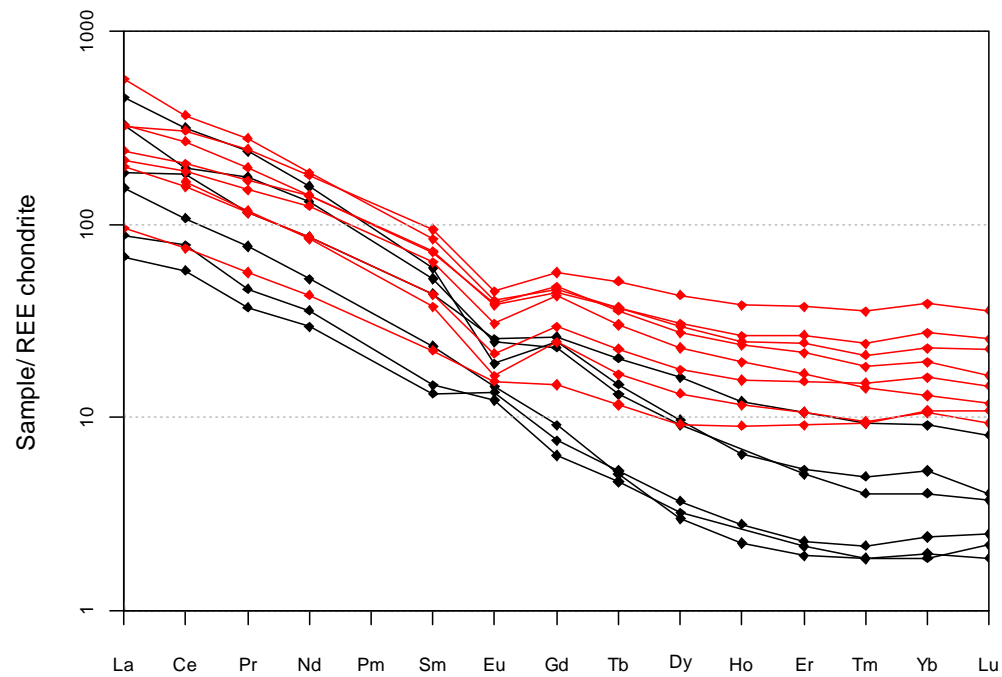


Figura 35: Diagrama elementos terras raras normalizados com o condrito.

9 – CONCLUSÕES

Trata-se de um corpo batolítico, abrangendo na área de estudo dimensão 80 km² alongado e paralelo à foliação regional NE/SW intrudido nas rochas do Complexo Embu.

O corpo tem uma composição monzogranítica a granodiorítica, com textura inequigranular porfirítica. Localmente a rocha apresenta textura equigranular fina onde há concentração de matriz e diminuição da granulometria.

São identificadas feições anatéticas com níveis leucossomáticos de composição quartzo-feldspática, estes se encontram dobrados, com plano axial paralelo à foliação tectônica. A deformação chega a formar milonitos na parte sul do corpo.

Apresenta fenocristais de feldspatos (K-feldspato e plagioclásio) orientados segundo a foliação regional, e uma matriz de granulometria média a grossa composta predominantemente por quartzo, feldspatos e biotitas.

É composto essencialmente por microclina, plagioclásio, quartzo e biotita. E como minerais acessórios apresentam opacos, hornblenda, titanita, zircão, apatita e allanita e como minerais acessórios sericita, epidoto e clorita.

Trata-se de um magmatismo da série magmática subalcalina, com um *trend* cálcio-alcalino de alto potássio, e caráter peraluminoso e são granitóides de arco vulcânico, sendo na área de estudo, considerado como uma fase mais evoluída.

Os resultados geocronológicos, obtidos na literatura, forneceram idade concordia de cristalização inicial em entre 610 - 660 Ma e de metamorfismo em $615 \pm 4,2$ Ma, sugerindo que esse corpo representa uma rocha pré-colisional de arco magmático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM F.F., MARSHAK S. & FONSECA M.A.. Assembling West Gondwana in the Neoproterozoic: Clues from the São Francisco Craton Region, Brazil. *Geology*, **29**: 319-322. 2001
- ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. *Boletim Divisão Geologia Mineralogia*, Rio de Janeiro, n. 241 , p. 1-36, 1967
- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Plataform. *Earth Science Reviews*, v. 50, p. 77-111 2001
- CAMPOS NETO, M. da COSTA ; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 97, p. 3-26. 1999
- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; VLACH, S.R.F.; CABY, R.; SZABÓ, G.A.J. & VASCONCELLOS, P. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton São Francisco, SE – Brasil *Geol. USP Ser. Cient.*, São Paulo, n.1, p.13-40, abril 2004.
- CAVALCANTE, J.C. et al. Projeto Sapucaí, Relatório Final - Geologia. São Paulo/SP, DNPM/CPRM,. v. 1, 615 p, 1979.
- COX, K.G.; BELL, J.D.; PANKHURST, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. London. Allen and Unwin, 450 pp.
- DEBON & LE FORT, 1982, A chemical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. R. Soc. Edinburgh, Earth Sci.*, 73, pp. 135 – 149, 1982.
- EBERT, H. 1971. Os Paraíbides e Araxaídes entre São João del Rei, Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 25, São Paulo, 1971. *Resumo*, São Paulo, SBG, p. 177-178.
- FERNANDES, M.L.S. 1991. Geologia, petrografia e geoquímica de rochas granitoides da região de Pedra Azul, MG. Inst. Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil, MSc thesis, 1991
- FERNANDES, A.J., CAMPOS NETO, M.C., FIGUEIREDO, M.C.H., O Complexo Embu no leste do Estado de São Paulo: limites e evolução geológica. 36th Cong. Bras. Geol., Natal, SBG, Anais, v. 6, pp. 2755– 2763, 1990
- HACKSPACHER P.C., FETTER A.H., EBERT H.D., JANASI V.A., OLIVEIRA M.A.F., BRAGA I.F., NEGRI F.A. Magmatismo há ca. 660-640 Ma no Domínio Socorro: Registros de Convergência Pré-Colisional na Aglutinação do Gondwana Ocidental. *Revista do Instituto de Geociências - USP. Série científica*, 3:85-96, 2003

- HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R., BISTRICHI, C. A. Estruturas e tectônica do pré-cambriano de São Paulo e Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 61-76, 1976.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. Evolução geológica do pré-cambriano na região sudeste do estado de São Paulo. *R. Bras. Geociênc.*, São Paulo, 6 (3): 182-200, 1976.
- HASUI, Y., CARNEIRO, C., DAL RE. & COIMBRA, A. M. The Ribeira Fold Belt. *Revista Brasileira de geociências*, 5 , 257-267p, Rio de Janeiro, 1975
- HASUI, Y., DANTAS, A.S.L., CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. – O Embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo – Mapa Geológico do Estado de São Paulo. IPT/SP. Volume 1 – Nota Explicativa, 12-45p, 1981
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J. & JANASI, V.A. Província Mantiqueira. *In: Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Organizadores: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. São Paulo; BECA, 674p, 2004.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W., VALERIANO, C.M., MILANI, E., ALMEIDA, J.C.H. & TUPINAMBÁ, M. From Collision to Extension: The Roots of the Southeastern Continental Margin of Brazil. *In: Mohriak, W.U. & Talwani, M. (Eds), Atlantic rifts and continental margins*. Washington, Am. Geoph. Union, Geoph. Monogr. Ser. 115; 1-32, 2000.
- HEILBRON, M., Evolução metamórfica-estrutural da área entre Itutinga e Madre de Deus de Mina Gerais, MG. Tese de Mestrado, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 151 p. 1984.
- IRVINE, T.N. and BARAGAR, W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548, 1971.
- JANASI, V. A. Petrogênese de granitos crustais na Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica. São Paulo, Tese (Livro-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 304 p, 1999
- MATOS, G.C. A Evolução Estrutural, o Metamorfismo e o Magmatismo Neoproterozóico de uma área que abrange as folhas Itajubá e Delfim Moreira, sul de MG. Dissertação de Mestrado - UFRJ - Instituto de Geociências - Departamento de Geologia, 2008
- OLIVEIRA CASTRO, E. M., TROUW, R. A. J.. Cinemática de Falhas de Empurrão na Região de Lambari (MG). *Congresso Brasileiro de Geologia* 39, v. 6: 51 – 52. Salvador, BA. 1996.
- PEARCE, J. A., HARRIS, N.B.W. & TINDLE, A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956-983, 1984.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamoru area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*,

58:63-81, 1976.

PEREIRA, R. M. ; ÁVILA, C.A ; MOURA, C.A.V. . Geologia da região entre Resende e São José do Barreiro e idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ do Granito do Funil, segmento central da Faixa Ribeira (RJ/SP) Brasil.. Geociências (São Paulo), v. 20, n. 1/2, p. 37-48, 2001a.

PETERNEL, R. ; TROUW, R. A. J. ; SCHMITT, R. S. . Interferência entre duas faixas móveis neoproterozóicas: o caso das faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 35(3), p. 297-310, 2005.

RIBEIRO, A.; ANDREIS, R. R. ; TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. G. Evolução das Bacias Proterozóicas e Termotectonismo Brasileiro na Margem Sul do Craton do São Francisco, 1995

RIBEIRO, A. & HEILBRON, M., 1982. Estratigrafia e metamorfismo dos Grupos Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador, 1982. Anais..., Salvador, SBG, vol. 1, p. 177-186.

SANTORO, E. Evolução geológica do Pré-Cambriano da região de Santo Antônio do Pinhal, SP: importância tectônica das zonas de cisalhamento. Tese de Doutorado, USP, 1998

SHAND, S.J. Eruptive Rocks, 2nd ed. Wiley, New York, 1943

STRECKEISEN, A., To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews, 12: 1-33. 1976

TEIXEIRA, A.L. Análise das bacias da transição Proterozóico-Fanerozóico do Estado de São Paulo e adjacências. 2000. 158 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TROUW, C.C.. Mapeamento parcial da Zona de Cisalhamento Caxambu e suas implicações no contexto tectônico Fanerozóico do Sudeste Brasileiro. Monografia de graduação, IGEO-UFRJ, Rio de Janeiro, 83p, 2004.

TROUW, R.A.J., HEILBRON, M., RIBEIRO, A., PACIULLO, F.V.P., VALERIANO, C.M., ALMEIDA, J.C.H., TUPINAMBÁ, M. & ANDREIS, R.R. The Central Segment of the Ribeira Belt. In: Tectonic Evolution of South America. Eds: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. P287-310, 2000

TROUW, R. A. J., HEILBRON, M., PETERNEL, R., RIBEIRO, A., VINAGRE, R., TEIXEIRA, P.A.D., TROUW, C.,. A new interpretation for the interference zone between the

southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil, 2011. In: *13 Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, Campinas, SP, 2011

TROUW, R.A.J. ; NUNES R.P.M. . CASTRO E.M.O. ; TROUW, C.C. . MATOS G.C. .

Nota Explicativa da Folha Itajubá- SF.23-Y-B-III, escala 1:100.000. Série Programa de Geologia do Brasil – PGB. p. 42, 2007

TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A.. A Faixa Alto Rio Grande Reinterpretada com Zona de Interferência Entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. In: Cong. Bras. De Geologia., 38, Balneário Camboriú, SC, 1994. Bol. Res. Ex, SBG, v. 3, p. 234 -235.

TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P., 1986. Contribuição à geologia da Folha Barbacena – 1:250.000. In: CONGR. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. Anais...SBG, V. 2, p. 974-984. 1986

TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. & HEILBRON, M.,. Os Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrêlandia, interpretados como continuação dos Grupos Araxá e Canastra. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984, Anais..., vol. 2, p. 3227-3240.

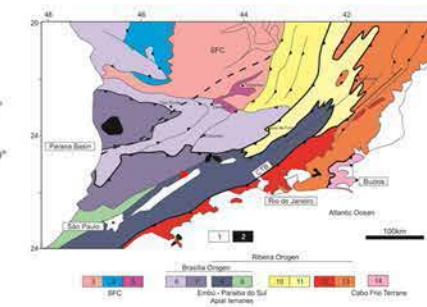
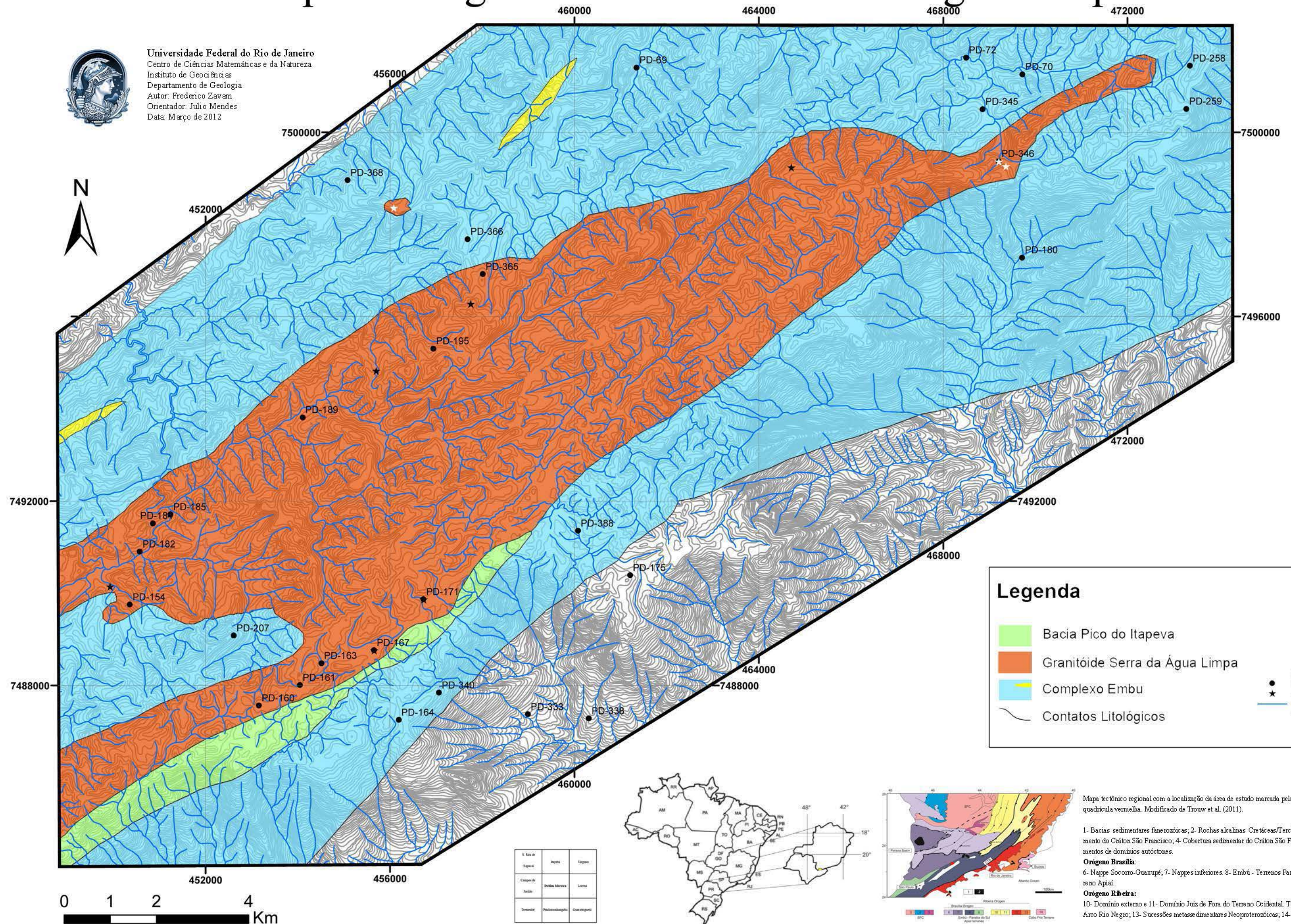
TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P., 1980. Evolução estrutural e metamórfica de uma área a SE de Lavras, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Balneário de Camboriú, SC, 1980. Anais..., vol. 5, Balneário de Camboriú, p. 2773.

VINAGRE, Rodrigo. Geologia, Geoquímica e Geocronologia da Folha Campos do Jordão 1:50000, Divisa dos Estados de Minas Gerais e São Paulo. Tese de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro 2010).

Mapa Geológico Granitóide Serra da Água Limpa



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Autor: Frederico Zavan
Orientador: Julio Mendes
Data: Março de 2012



Mapa tectônico regional com a localização da área de estudo marcada pela quadricula vermelha. Modificado de Trouw et al. (2011).

1- Bacias sedimentares fanerozoicas; 2- Rochas alcalinas Cretáceas/Terciárias. 3- Embasamento do Cráton São Francisco; 4- Cobertura sedimentar do Cráton São Francisco; 5- Metassedimentos de domínios autóctones.

Órógeno Brasília

6- Nappe Socorro-Guaxupé; 7- Nappe inferiores. 8- Embú - Terrenos Paraíba do Sul; 9- Terreno Apiaí.

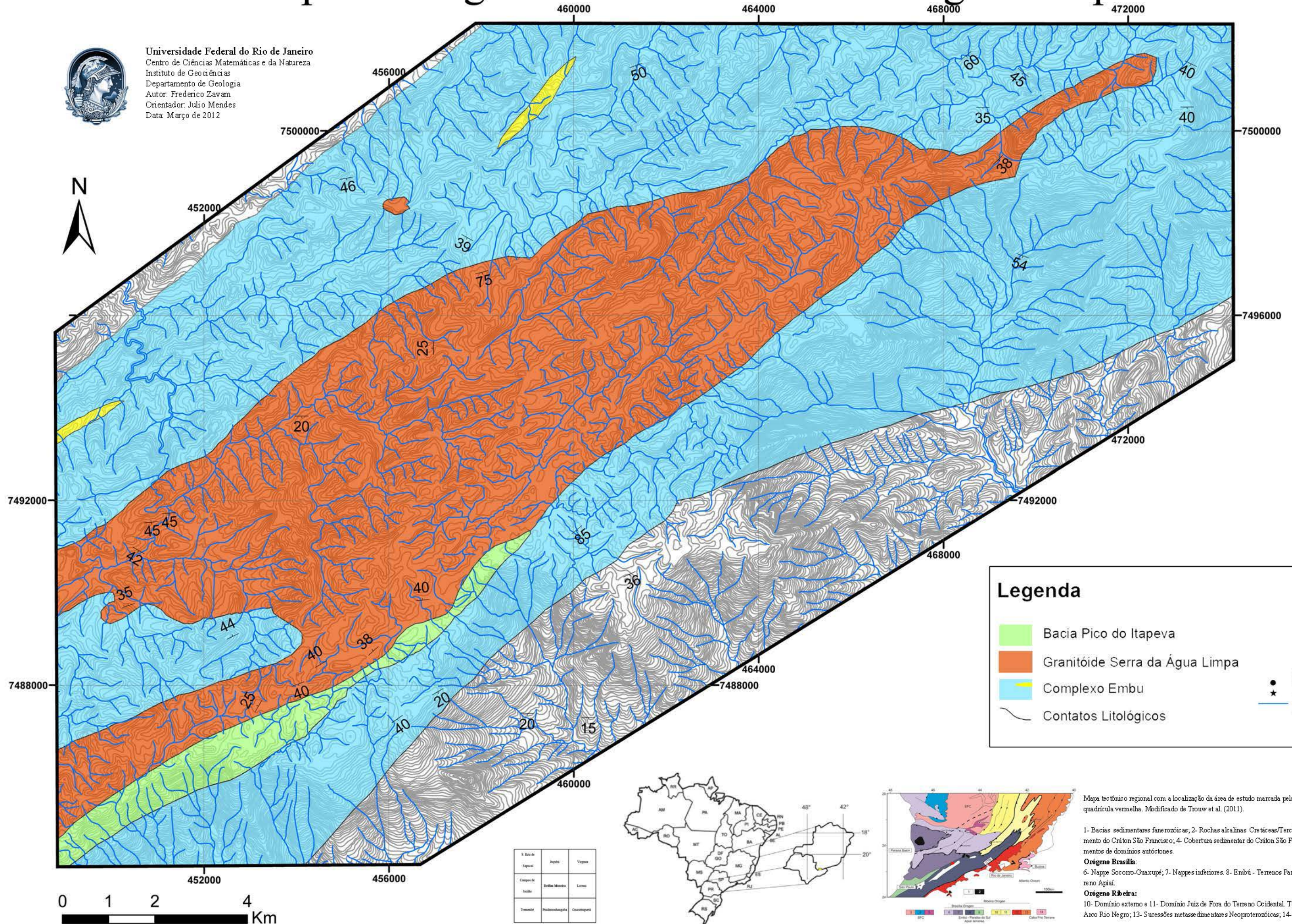
Órógeno Ribeira

10- Domínio externo e 11- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental. Terreno Oriental. 12- Arco Rio Negro; 13- Sucessões metassedimentares Neoproterozoicas; 14- Terreno Cabo Frio.

Mapa Geológico Granitóide Serra da Água Limpa



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Autor: Frederico Zavan
Orientador: Julio Mendes
Data: Março de 2012

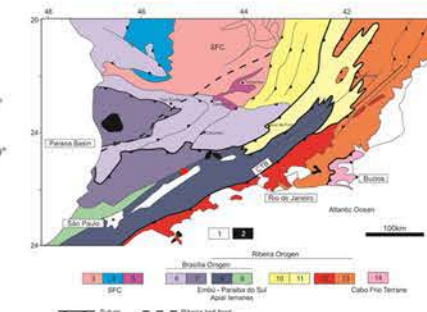


Legenda

- Bacia Pico do Itapeva
- Granitóide Serra da Água Limpa
- Complexo Embu
- Contatos Litológicos

- Linha
- Ponto
- Linha
- Linha
- Linha

S. Rio de Janeiro	Ingá	Uçá
Campos de Foz de Iguaçu	Serra da Mantovani	Linha
Tremembé	Pedra do Bonito	Guaratinguá



Mapa tectônico regional com a localização da área de estudo marcada pela quadricula vermelha. Modificado de Trouw et al. (2011).

1- Bacias sedimentares fanerozoicas; 2- Rochas alcalinas Cretáceas/Terciárias. 3- Embasamento do Cráton São Francisco; 4- Cobertura sedimentar do Cráton São Francisco; 5- Metassedimentos de domínios autóctones.

Órógeno Brasília:

6- Nappe Socorro-Guaçu; 7- Nappe inferiores. 8- Embu - Terrenos Paraíba do Sul; 9- Terreno Apiaí.

Órógeno Ribeira:

10- Domínio externo e 11- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental. Terreno Oriental: 12- Arco Rio Negro; 13- Sucessões metassedimentares Neoproterozoicas; 14- Terreno Cabo Frio.